



Les lois fondamentales de l'optique géométrique

Surface plane :
Miroir, **Dioptre** et **Prisme**

SVT session d'automne 2012

Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

L'optique ?

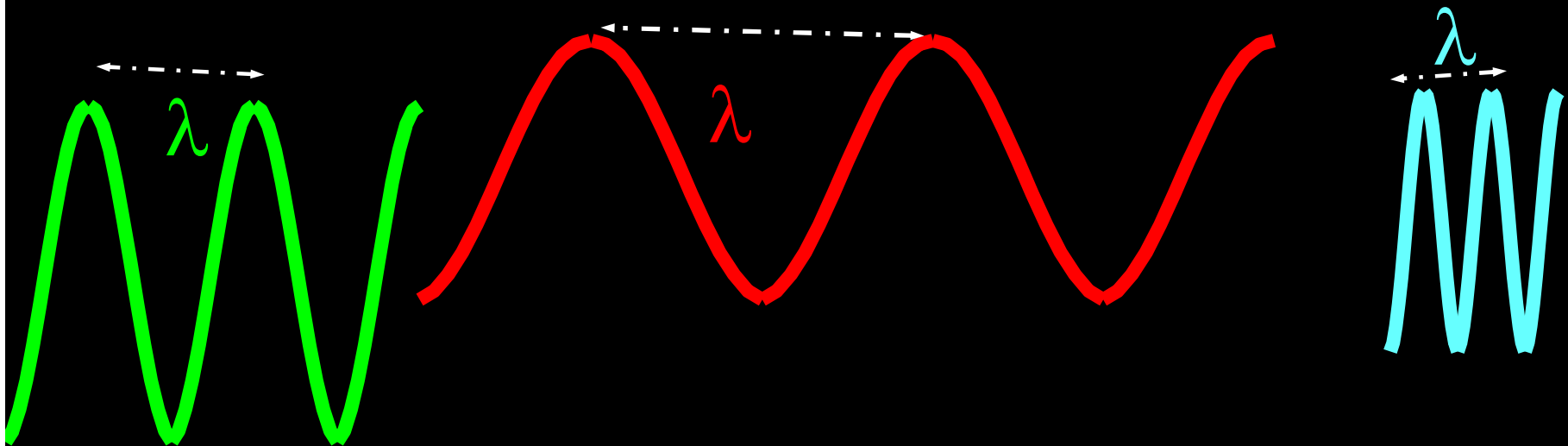
L'optique est l'étude de la lumière

La lumière est le messenger de
notre Univers

La lumière est émise par la matière
et se manifeste par son action
sur l'œil ou sur **d'autres**
récepteurs parmi lesquels nous
citerons :

- Plaque photographique, ...
- Ces récepteurs permettent de mettre en évidence des domaines de lumière que l'œil ne perçoit pas, tels ceux de l'Ultraviolet et de l'Infrarouge.

En optique géométrique, la lumière est considérée comme une **onde électromagnétique** (vibration ondulatoire) qui se propage dans toutes les directions de l'espace, même en absence du milieu matériel.



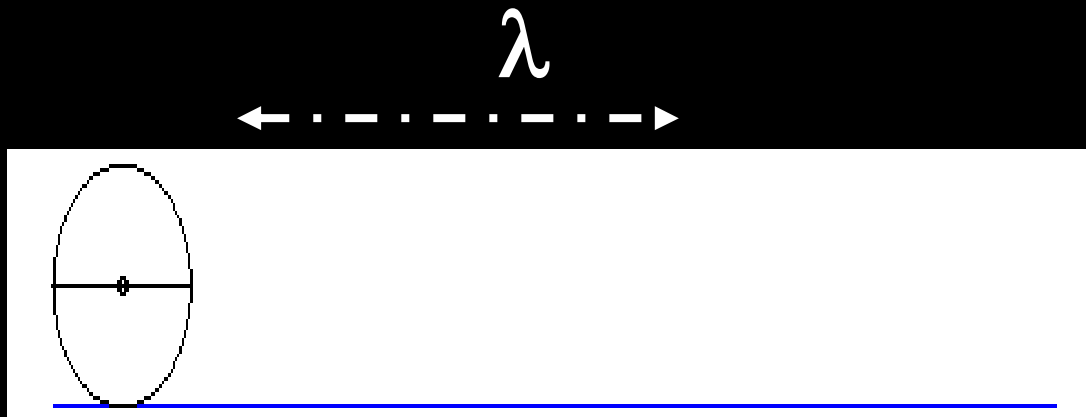
Une onde électromagnétique est vibration ondulatoire caractérisée par sa fréquence ν (nu) ou par sa période temporelle $T=1/\nu$,

Ces 2 paramètres T et ν sont indépendants du milieu traversé.

La longueur d'onde λ est définie par :

$$\lambda = v \cdot T = v / \nu$$
 où v est la vitesse de propagation de l'onde.

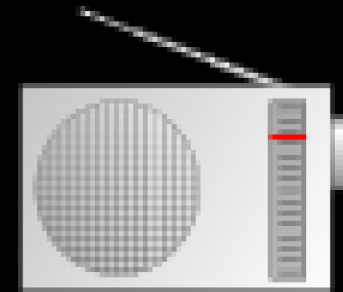
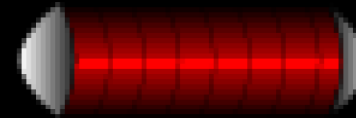
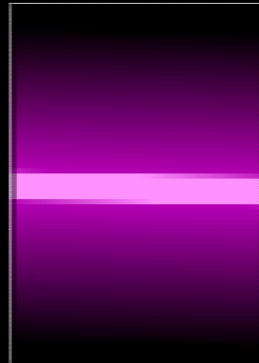
Ces 2 grandeurs v et λ dépendent du milieu traversé, à l'inverse de la période T et la fréquence ν .



$$1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$$

$$1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$$

$$1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$$



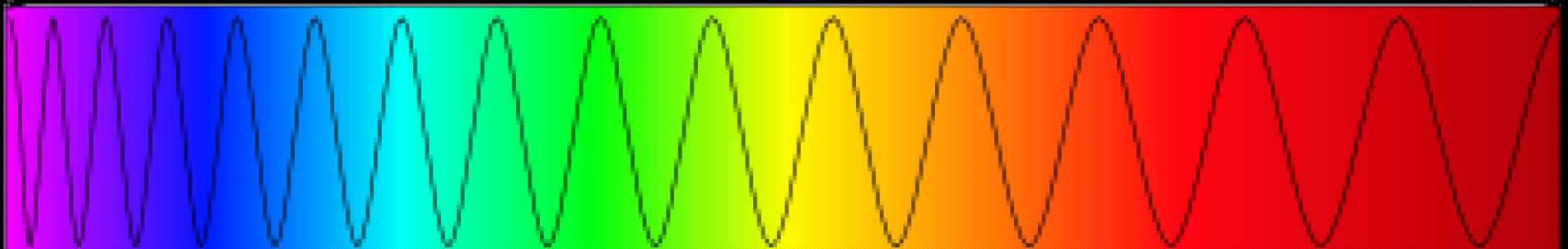
Le spectre électromagnétique

Visible à l'œil nu

400 nm

750 nm

La longueur d'onde λ_0 de la lumière visible à l'œil, par rapport au vide



La vitesse v de propagation de la lumière dépend du milieu traversé :

| Air ou vide | eau | verre |
|--------------|--------------|--------------|
| 300 000 km/s | 225 000 km/s | 200 000 km/s |

La lumière se propage dans les milieux transparents différents à des vitesses différentes.

On définit l'indice de réfraction n en un point M quelconque d'un milieu donné par la quantité :

$$n = c/v =$$

vitesse lumière dans le vide

vitesse lumière dans le milieu

| air | eau | éthanol | verres | benzène | diamant |
|-----|-----|---------|-----------------|---------|---------|
| 1 | 1,3 | 1,36 | $1,5 < n < 1,8$ | 1,6 | 2,4 |

Attention : c'est très important !!!!

Comme $v < c$ alors $1 < n$;

l'indice du vide : $n_0 = c/c = 1$

✓ l'indice de réfraction n reflète la
tendance de la matière à **ralentir** la
propagation des ondes
électromagnétiques.

Remarque : Une radiation de fréquence ν et de longueur d'onde λ_0 dans le vide ($n_0=1$), sa longueur d'onde λ dans un milieu d'indice de réfraction $n > 1$ s'exprime comme suit :

D'où :

$$\lambda_0 / \lambda = n$$

$$\lambda = \nu \cdot T = \frac{\nu}{\underbrace{c}_{\frac{1}{n}}} \cdot \underbrace{c \cdot T}_{\lambda_0} = \frac{\lambda_0}{n}$$

En passant de l'air, milieu d'indice de réfraction 1, vers un autre milieu matériel d'indice de réfraction n , la lumière change sa longueur d'onde λ , c'est-à-dire sa vitesse v et non pas sa fréquence ν ni sa période temporelle T

$$\lambda = v \cdot T = \frac{\lambda_0}{n}$$

Remarque :

La longueur d'onde λ est inversement proportionnelle à l'indice de réfraction n du milieu où la radiation se propage.

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

Formule de Cauchy

Milieu dispersif

Milieu homogène : tout milieu dans lequel la lumière se propage avec une vitesse v constante. Donc **son indice de réfraction n** est aussi constant.

Milieu inhomogène (non homogène) : Tout milieu dans lequel la lumière se propage avec une vitesse v variable.

Donc son **indice de réfraction n** est aussi variable, dans ce milieu ($n=c/v$).

La lumière blanche est décomposée en plusieurs radiations visibles, définies par des couleurs, c'est-à-dire par la fréquence ν ou sa longueur d'onde λ . Chacune de ces radiations est dite simple ou monochromatique, car il est impossible de la décomposer en d'autres radiations.

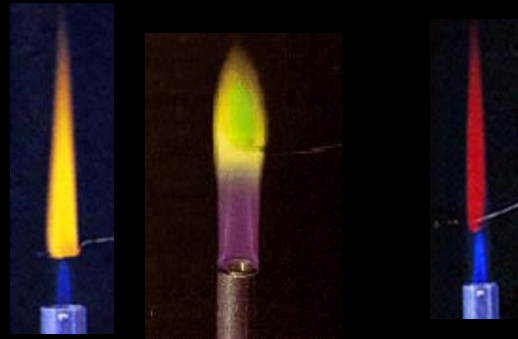
400 nm

750 nm

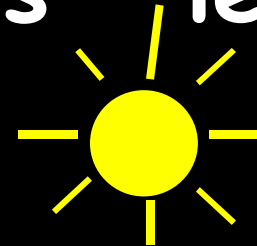


La longueur d'onde λ_0 de la lumière visible à l'œil, par rapport au vide $n=1$

Une source monochromatique est une source capable d'émettre une seule radiation, donc une seule couleur.



Une source de la lumière blanche est une source qui émet de la lumière blanche, c'est-à-dire toutes les radiations. Exemple : le Soleil



Source de lumière : Tout corps qui émet de la lumière est une source lumineuse. Cette source peut être :

* **Source principale** (bougie, lampe, étoile,...)

* **Source secondaire**. L'objet diffuse la lumière qu'il reçoit (La Lune, Planètes, vous, le mur, la table,...)

- **Sources étendues** :
Soleil, écran de cinéma, Lampe,...
- **Sources de faibles dimensions** :
Planètes,...
- **Sources ponctuelles** :
étoile,...



- On appelle corps transparent tout corps qui laisse passer la lumière.

Exemple : l'eau, le verre, le cellophane,...

- On appelle corps opaque, tout corps qui arrête totalement la lumière.

Exemple : le bois, l'acier, le marbre...



Cellophane



eau



bois

Un rayon lumineux est représenté par une droite AB sur laquelle on place une flèche indiquant le sens de propagation de la lumière.

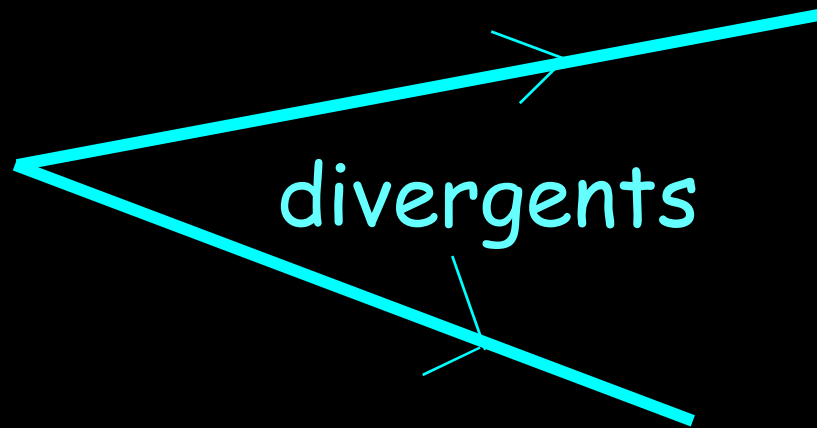


ou



- En pratique un rayon lumineux **isolé n'existe pas**.
- Les rayons sont toujours groupés en faisceaux. On distingue 3 sortes de faisceaux.

Faisceaux de rayons parallèles ou cylindriques



Pinceau : tout faisceau étroit est appelé un pinceau lumineux

Les fondements de l'optique géométrique

➤ L'optique géométrique repose sur la notion fondamentale du rayon lumineux. La lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène.

➤ L'optique géométrique schématise alors la lumière par un rayon lumineux.

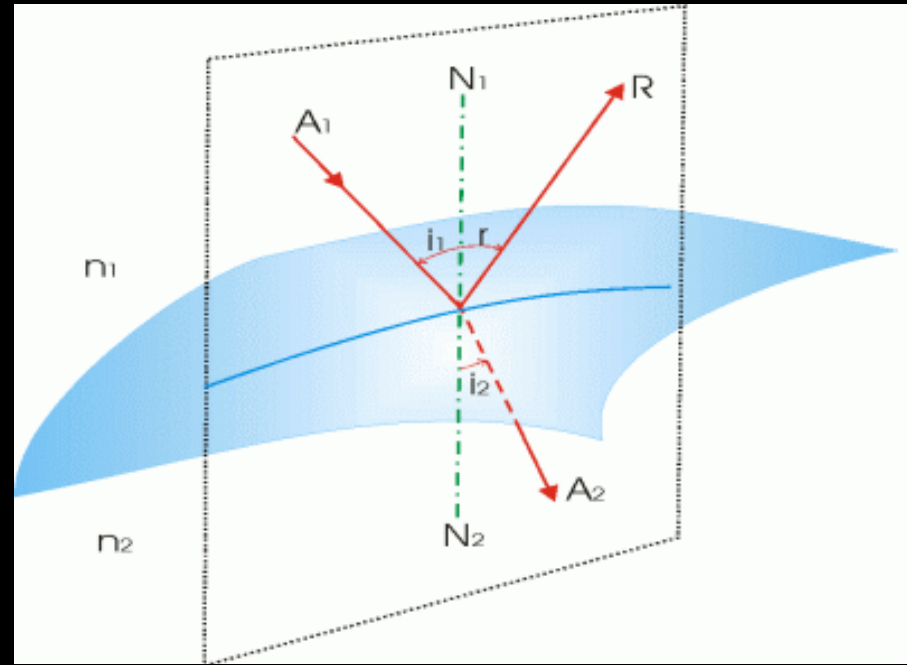
➤ Le principe de retour inverse de la lumière :

$A \rightarrow B$ alors $B \rightarrow A$

L'indépendance des rayons lumineux permet de décomposer un faisceau en rayons, et d'étudier séparément la **marche de chaque rayon**, ce qui constitue le **but** de l'optique géométrique.

Le comportement de ce rayon lumineux à la surface de séparation ou d'un miroir est décrit par **les lois de Snell-Descartes**.

Les lois de Snell-
Descartes fixent la
direction des
faisceaux **réfléchi**
et **réfracté** en
fonction de celle du
faisceau **incident**.

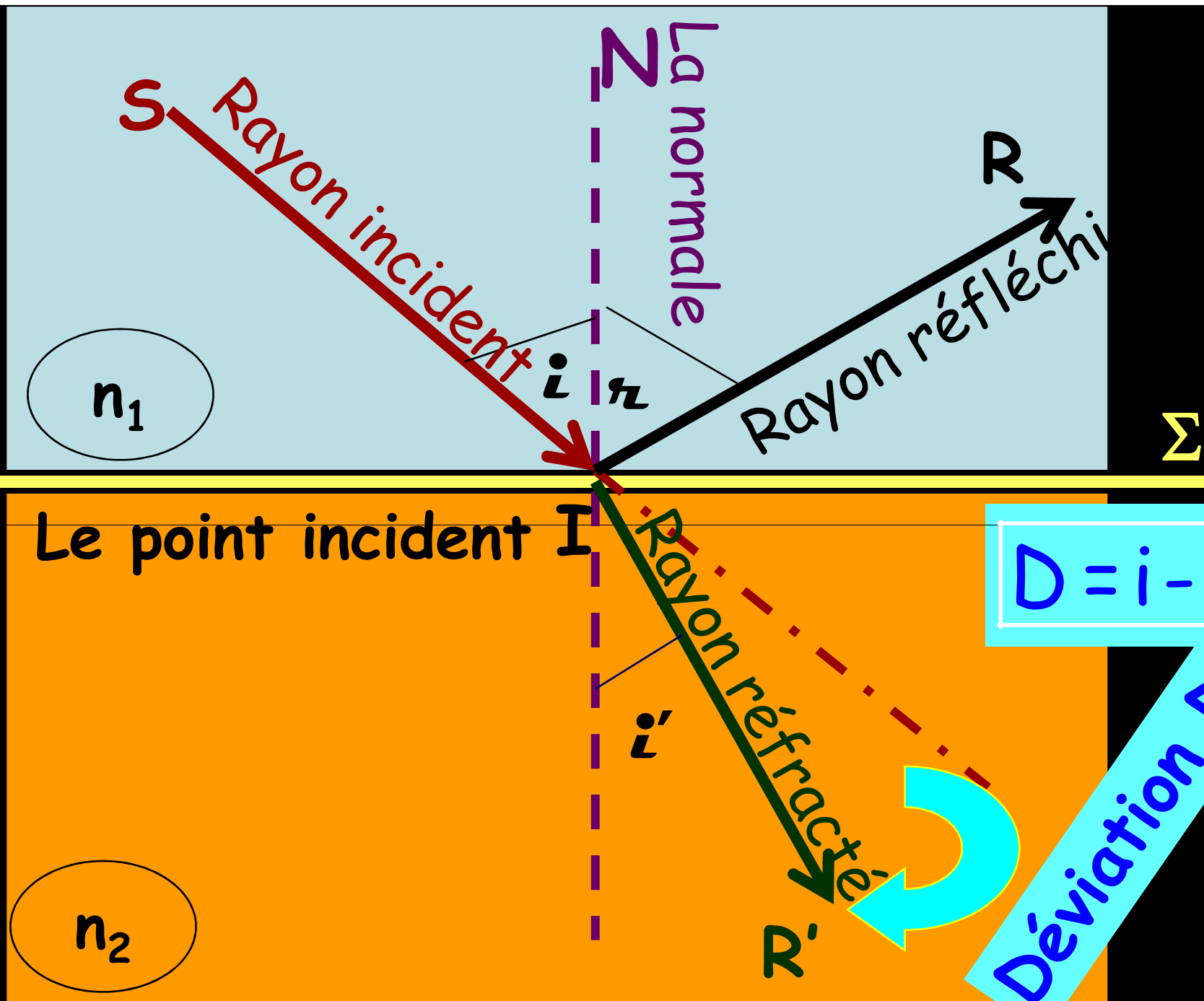


Les lois de Snell-Descartes :

1. Les lois de la réflexion
2. Les lois de la réfraction

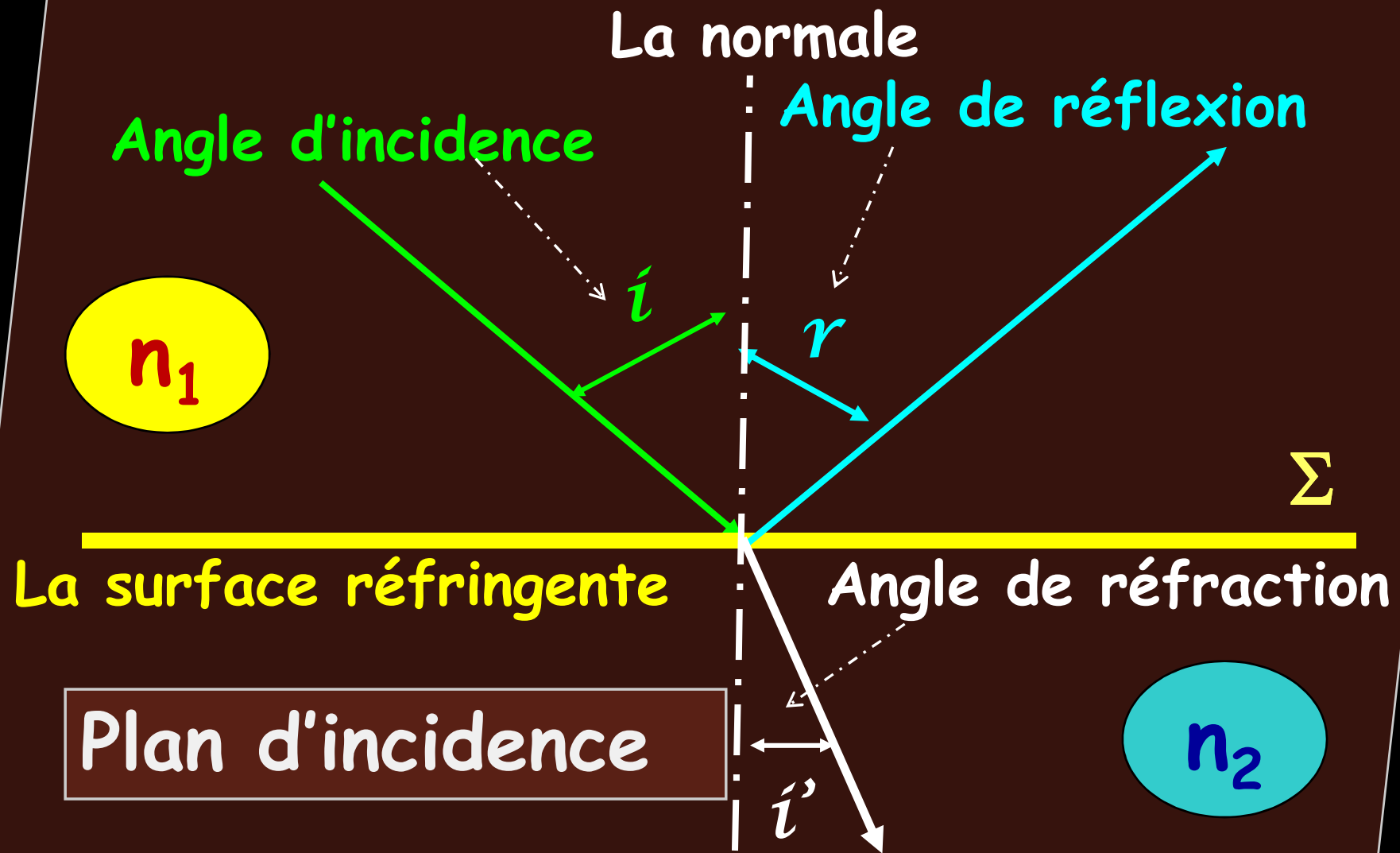


Surface de séparation

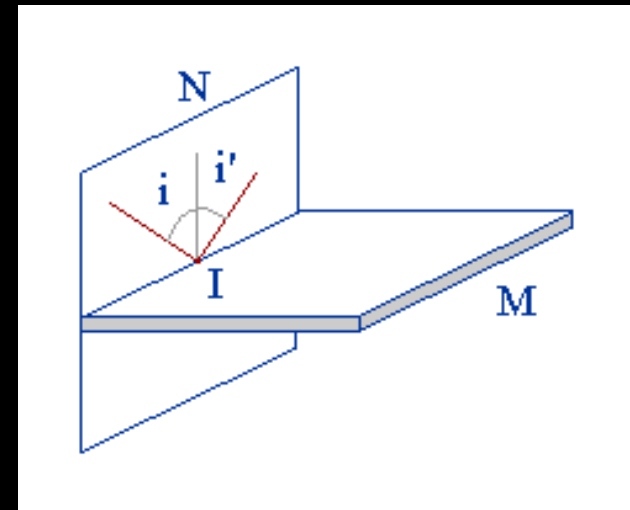
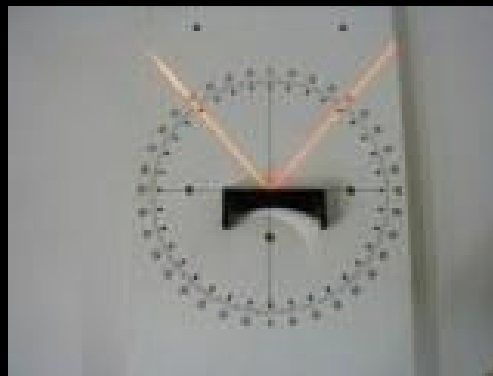


$$D = i - i'$$

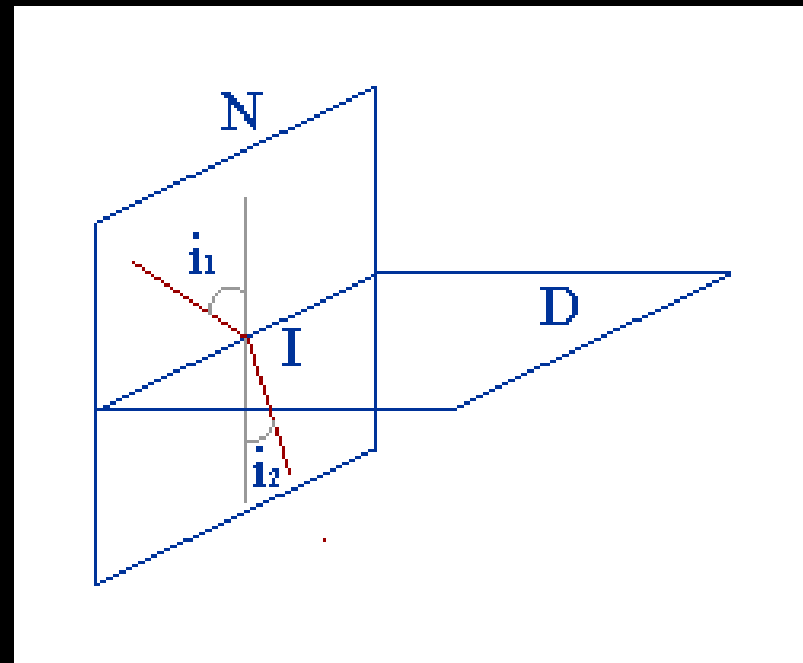
Déviatiôn D



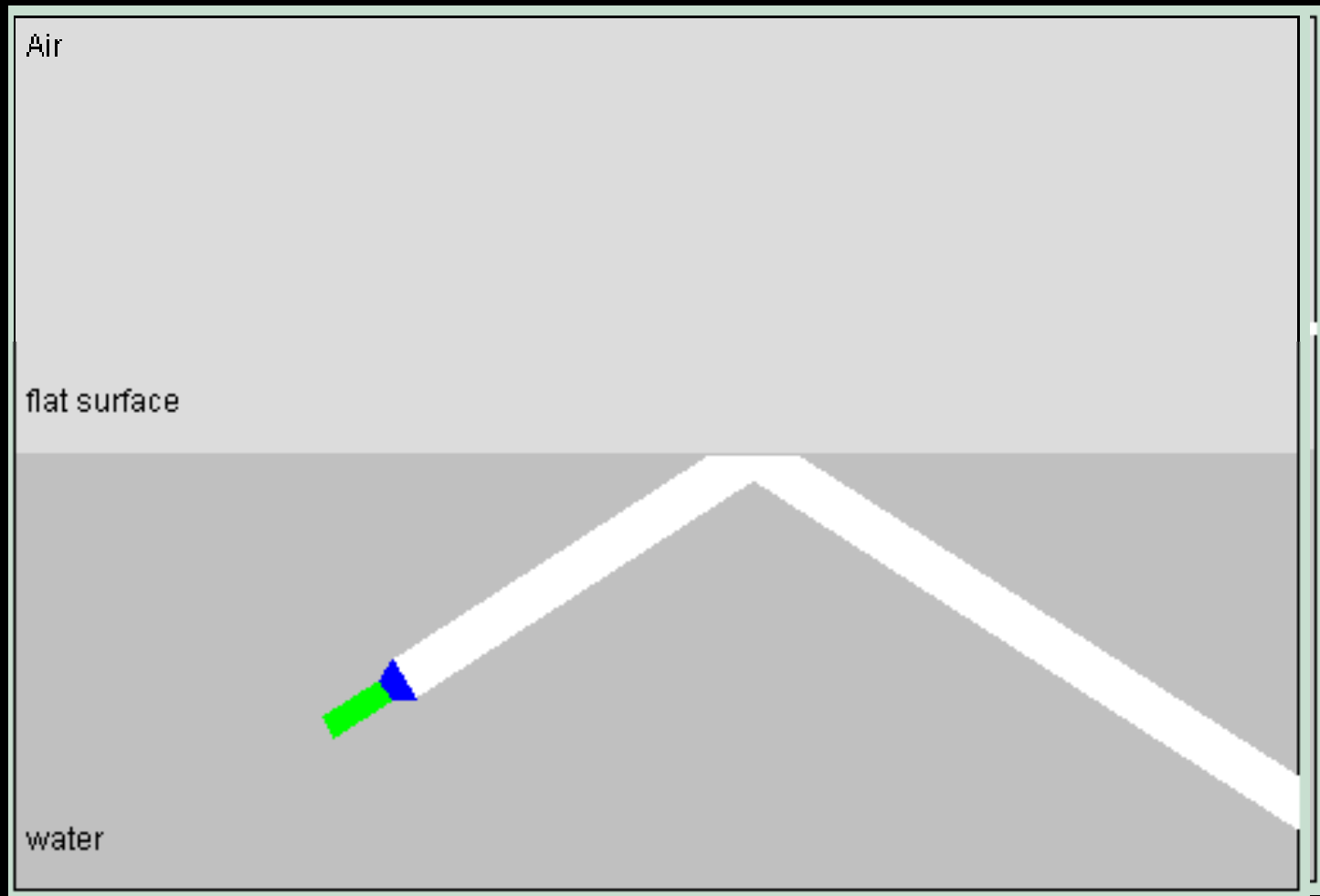
1. Le rayon réfléchi et le rayon incident sont dans le plan d'incidence formé par la normale et le rayon incident (IN,SI)
2. L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence, ce qui se traduit par : $i = r$

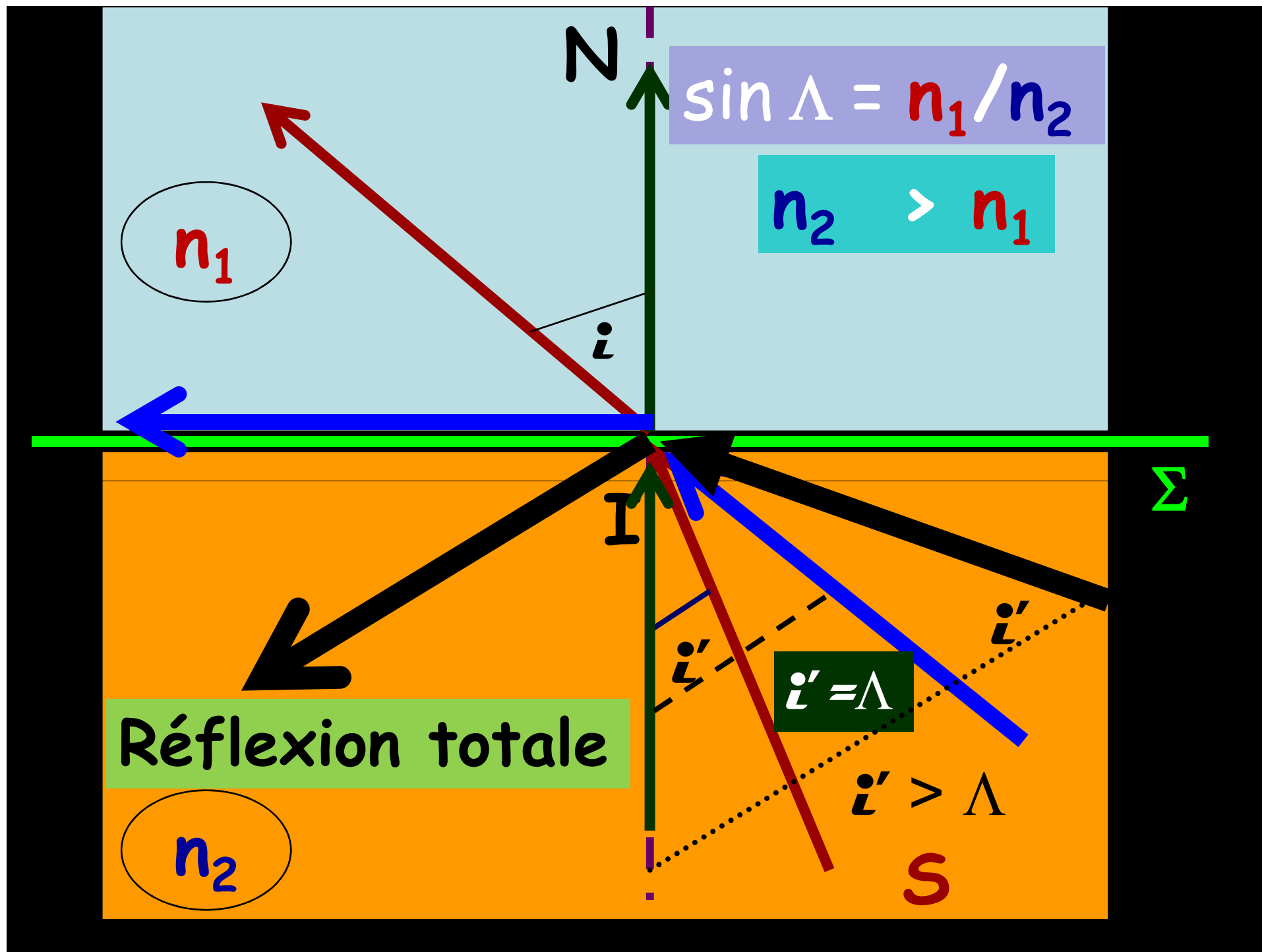


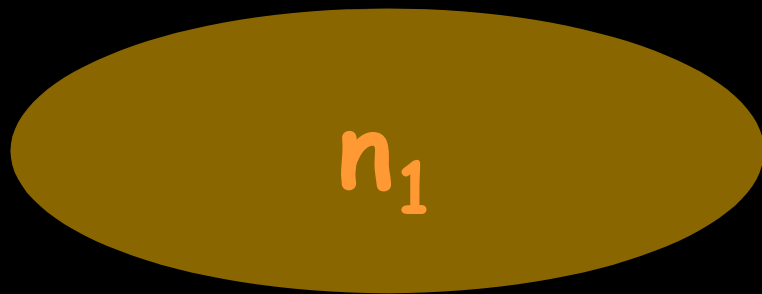
1. Les rayons **réfracté** et **incident** sont dans le même **plan d'incidence** défini par les deux vecteurs (IN,SI)
2. L'angle de réfraction i' et l'angle d'incidence i sont liés par la relation :
 $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin i'$



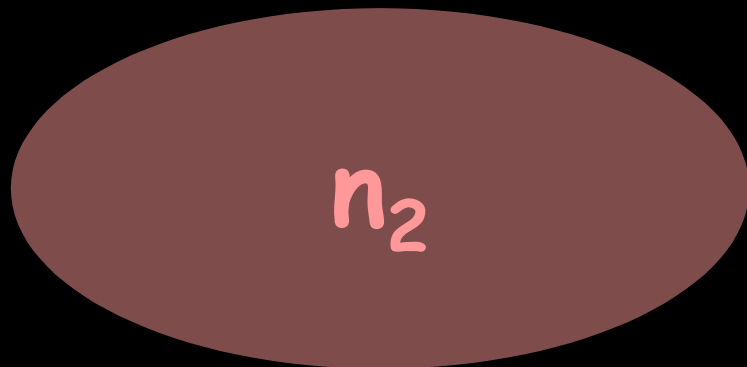
Angle de réfraction limite







$$\text{si } n_2 < n_1 \Rightarrow \sin \Lambda = \frac{n_2}{n_1}$$



$$\text{si } n_1 < n_2 \Rightarrow \sin \Lambda = \frac{n_2}{n_1}$$

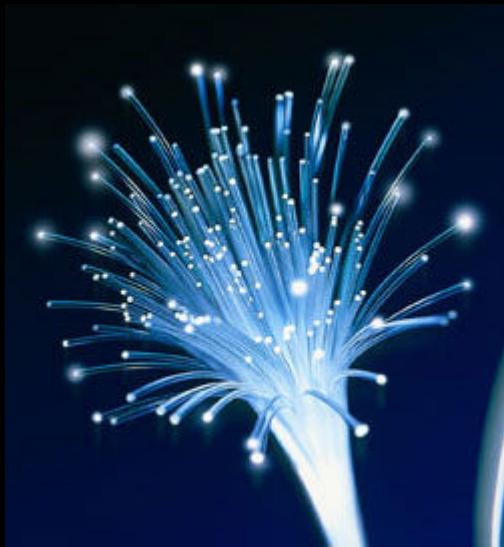
$$\sin \Lambda = \frac{n_{\text{faible}}}{n_{\text{grand}}}$$

L'angle de la réfraction limite Λ

L'angle de la réfraction limite Λ se trouve toujours dans le milieu le plus réfringent.

Quand la lumière se propage du milieu le plus réfringent vers le milieu le moins réfringent, la réflexion totale peut avoir lieu, à condition que l'angle d'incidence soit plus grand que Λ .

Le phénomène de la **réflexion totale** est utilisé pour canaliser la lumière, par exemple dans les **fontaines lumineuses** ou dans les **fibres optiques**, l'**endoscopie**, fibroscopie .



fibres optiques



$$\sin \Delta_{\text{eau-air}} = \frac{n_0 = 1}{n_1 = \frac{4}{3}} = \frac{3}{4} = 0,75 \Rightarrow \Delta_{\text{eau-air}} = 48^{\circ},59$$

- Exercice 3 : Fibre optique **
- A- Avec les données du document 1 ci-dessous
- Calculer les angles i_1 et i_2 sachant que l'angle $i = 60^\circ$
- Tracer la marche du rayon lumineux jusqu'à sa sortie du cylindre
- B- Un rayon lumineux arrive de l'air, d'indice de réfraction $n_0=1$, sous une incidence i_e et pénètre dans le cœur d'une fibre optique d'indice de réfraction n_1 .
- Exprimer le sinus de l'angle de réfraction r en fonction de n_1 et de l'incidence i_e .
- L'angle d'incidence sur la surface de séparation cœur - gaine est i . Donner la relation entre i et r et l'expression de $\cos i$.
- L'indice de la gaine a pour valeur n_2 ($n_2 < n_1$). Exprimer le sinus de l'angle de réfraction limite Δ de réfraction entre les milieux d'indice n_2 et n_1 .
- C- Trouver la condition pour qu'un rayon lumineux puisse se propager dans la fibre (document 2).

$$i + i_2 + \hat{K} = 180^\circ \Rightarrow i_2 = 30^\circ$$

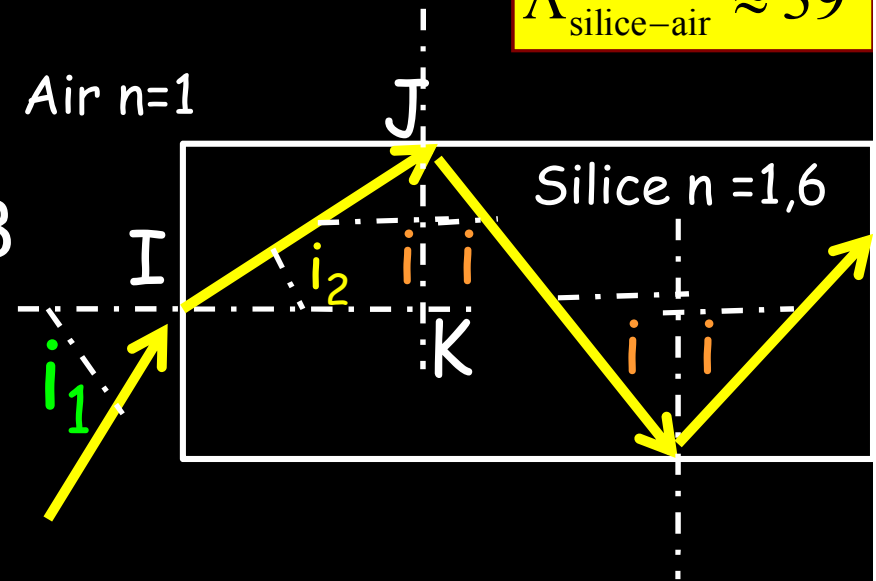
Air $n=1$

$$1 \cdot \sin i_1 = n \cdot \sin i_2 = 1,6 \cdot 0,5 = 0,8$$

$$\sin i_1 = 0,8 \Rightarrow i_1 = 53^\circ$$

$$\sin \Lambda = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,6} = 0,625 \Rightarrow \Lambda = 38,68^\circ$$

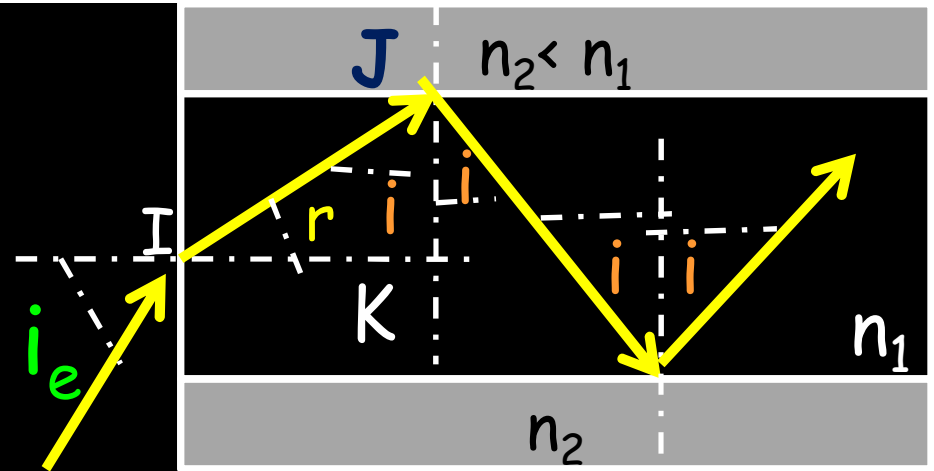
$$\Lambda_{\text{silice-air}} \approx 39^\circ$$



Comme on a $i > \Lambda$, alors on a une réflexion totale au point J. De proche en proche, le rayon lumineux se propage le long de la fibre jusqu'à sa sortie.

$$n_0 \cdot \sin i_e = n_1 \cdot \sin r$$

$$1 \cdot \sin i_e = n_1 \cdot \sin r$$



$$r + i = 90 \Rightarrow \sin i = \cos r$$

$$\sin \Lambda = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin^2 i_e = n_1^2 \cdot \sin^2 r = n_1^2 \cdot (1 - \cos^2 r) = n_1^2 \cdot (1 - \sin^2 i)$$

Pour que le rayon lumineux se propage dans la fibre, il faut qu'il subisse une réflexion totale au point J. Donc il faut que l'angle i soit supérieur à l'angle de réfraction limite Λ . Dans le cas affirmatif, de proche en proche, le rayon lumineux se propage le long de la fibre jusqu'à sa sortie.

$$i > \Lambda_{c-G} \Rightarrow \sin i > \sin \Lambda_{c-G} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin^2 i > \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$\sin^2 i_e = n_1^2 \cdot (1 - \sin^2 i) < n_1^2 \cdot \left(1 - \frac{n_2^2}{n_1^2} \right)$$

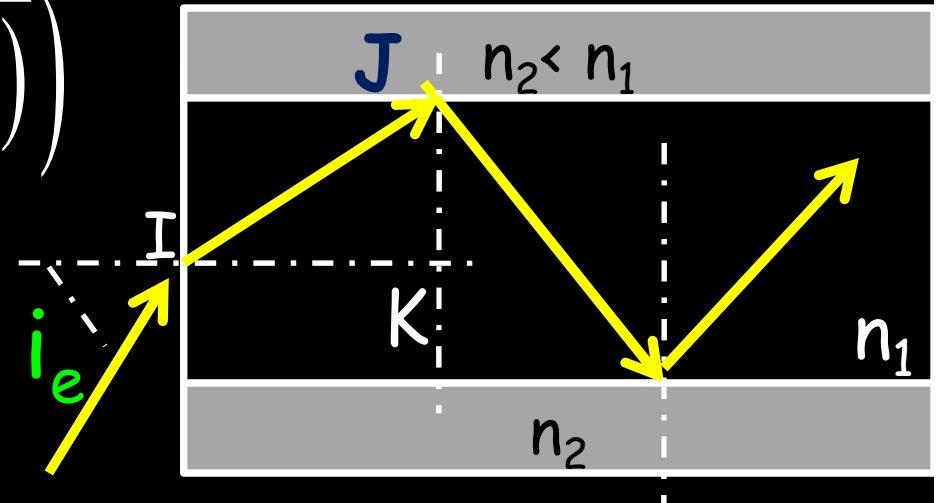
$$\sin^2 i_e < (n_1^2 - n_2^2)$$

$$\sin i_e < \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \Rightarrow i_e < \underbrace{\arcsin\left(\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}\right)}_{(i_e)_{\max}}$$

$$\sin i_e < \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \Rightarrow i_e < \underbrace{\arcsin\left(\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}\right)}_{(i_e)_{\max}}$$

$$(i_e)_{\max} = \arcsin\left(\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}\right)$$

$$i_e \leq (i_e)_{\max} = \arcsin\left(\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}\right)$$



Il faut éclairer la fibre avec une lumière dont l'incidence i_e vérifie l'inégalité. C'est la condition pour qu'un rayon lumineux puisse se propager le long de la fibre optique.

Fin de l'exercice 3

Le principe du retour inverse de la lumière est bien vérifié :

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin i' \Leftrightarrow n_2 \cdot \sin i' = n_1 \cdot \sin i$$

Source S

incident

réfracté

n_1

n_2

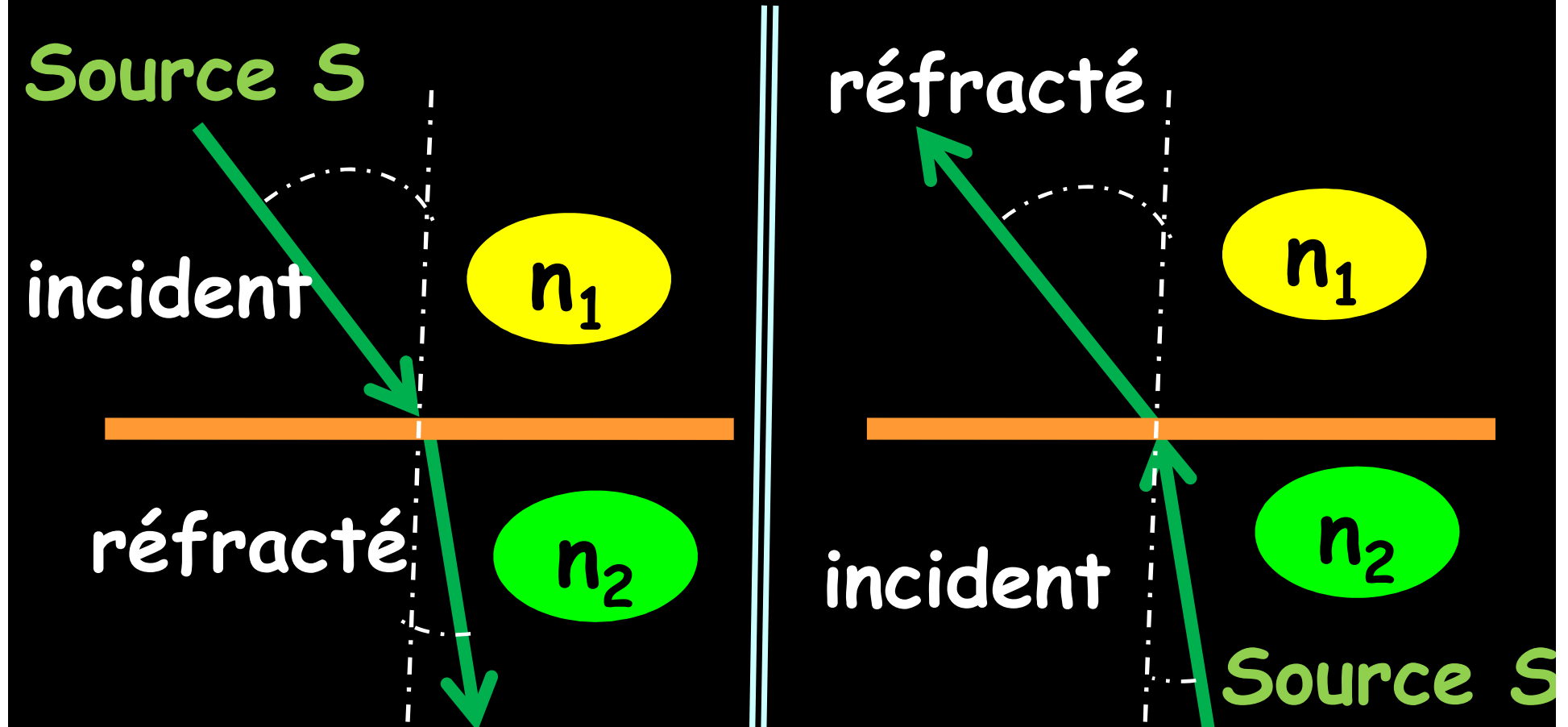
réfracté

incident

Source S

n_1

n_2



- **Remarques** : Lorsque les angles i et i' sont petits, $angle \leq 15^\circ$

la **loi de Snell-Descartes** pour la réfraction prend la forme simplifiée : $n_1 \cdot i \sim n_2 \cdot i'$

connue sous le nom de « **la loi de Kepler** »



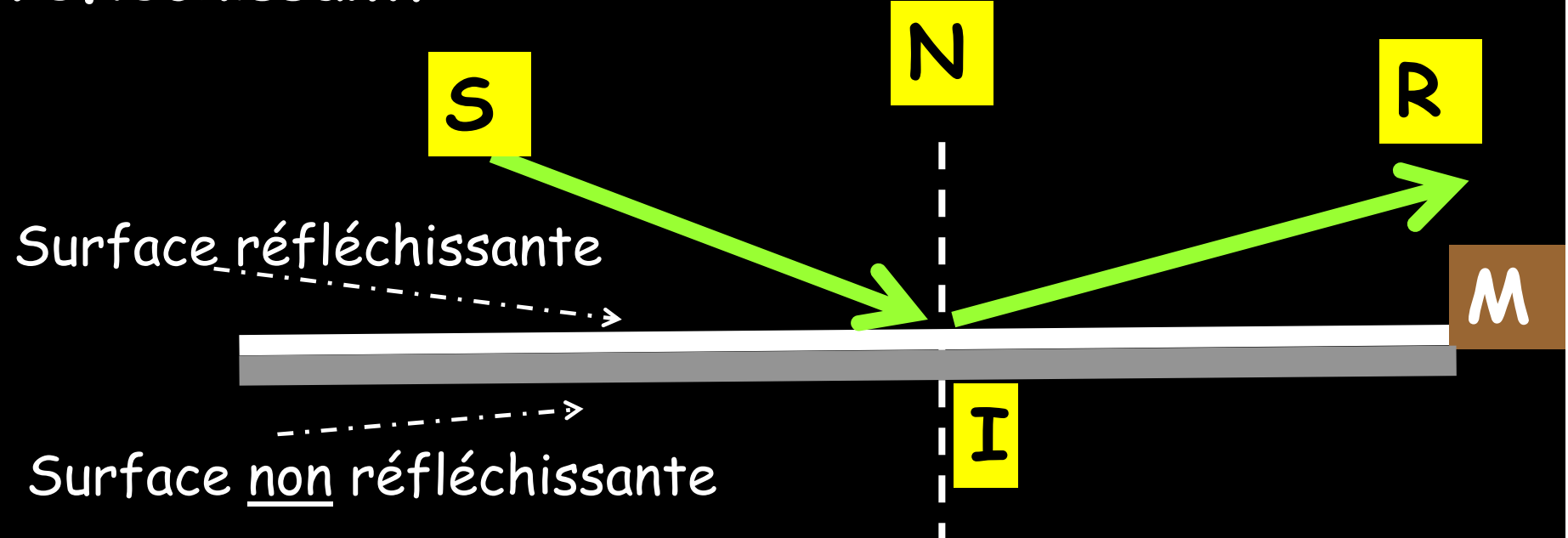
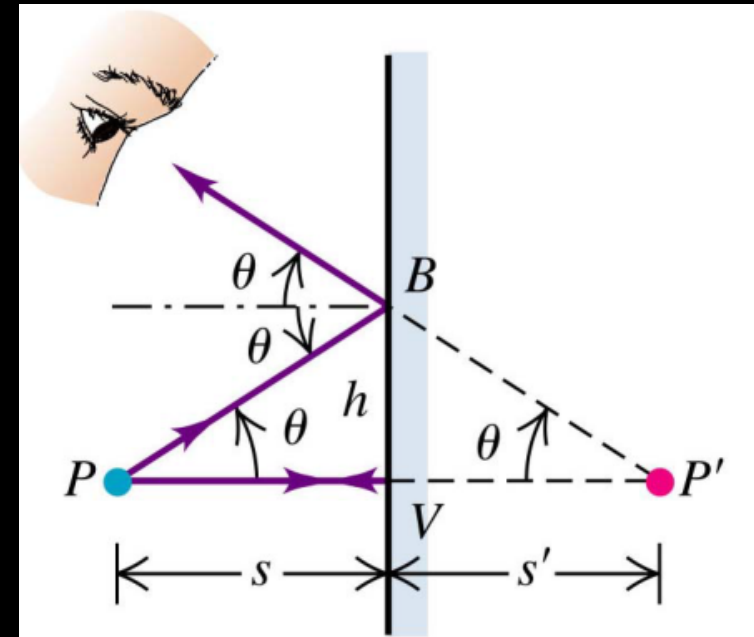
En appliquant le principe de la propagation rectiligne de la lumière, l'optique géométrique se propose d'étudier comment les rayons lumineux, partant des objets, cheminent en subissant des réflexions et des réfractions à travers divers milieux transparents appelés systèmes optiques, et concourent à la formation des images.

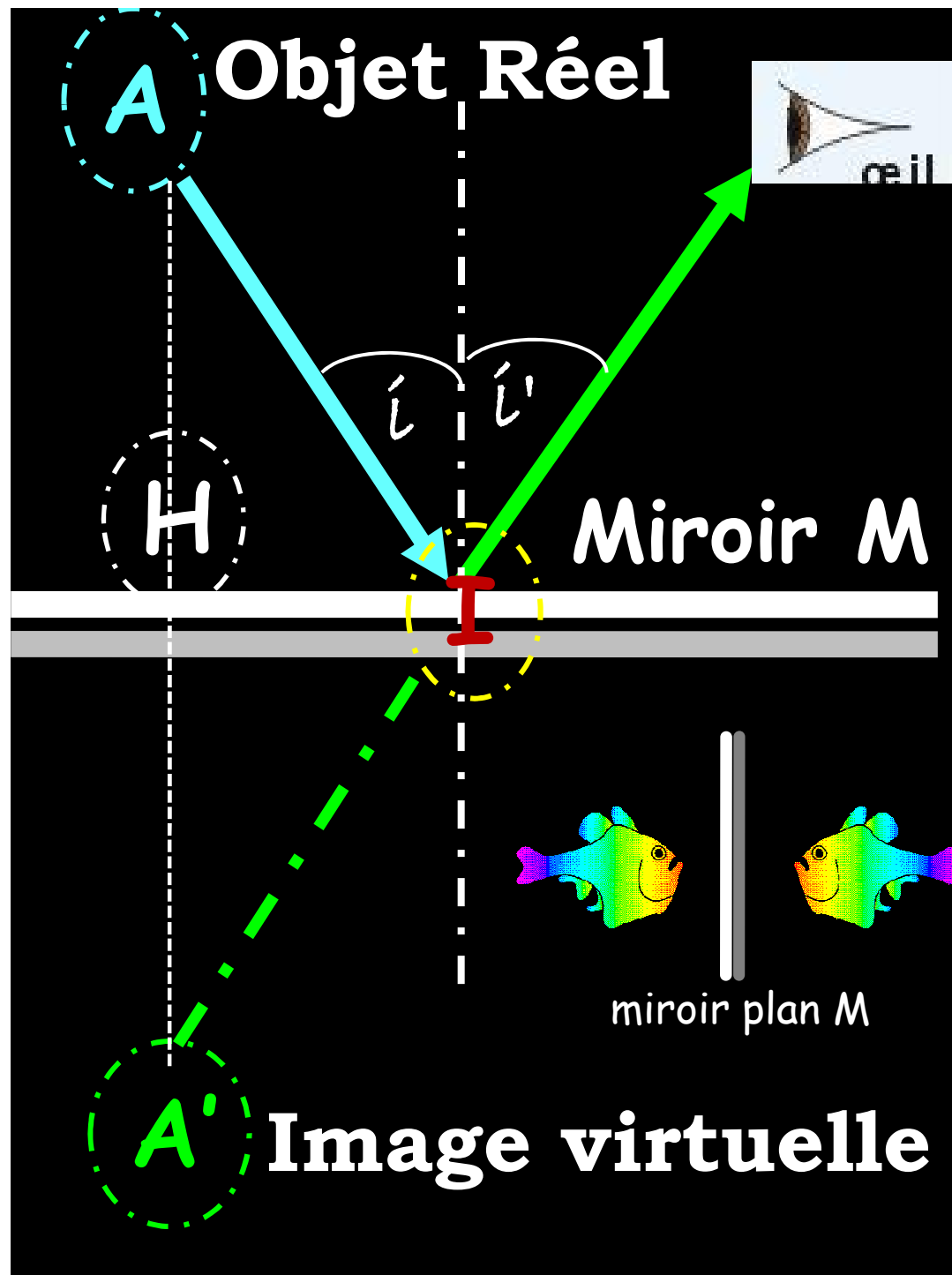
Le miroir plan

On appelle **miroir plan**
une **surface**
réfléchissante
parfaitement plane polie
recouverte d'une mince
couche métallique (argent
ou aluminium).



Un tel **miroir** **M** est généralement représenté par la trace de son plan disposé normalement au plan de figure. On couvre de hachures le côté non réfléchissant.

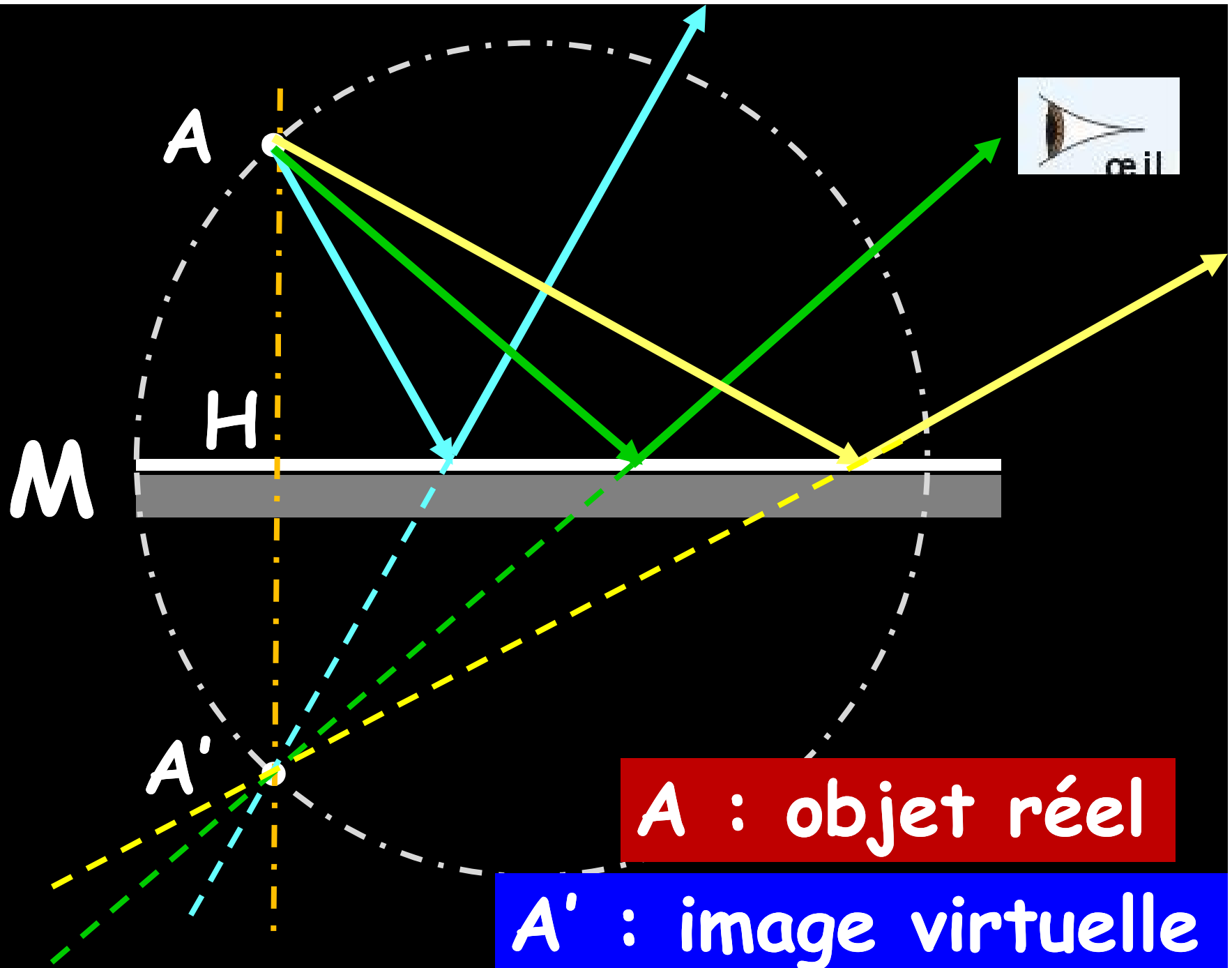




L'objet A et son image A', fournie par le miroir M, sont symétriques par rapport à M

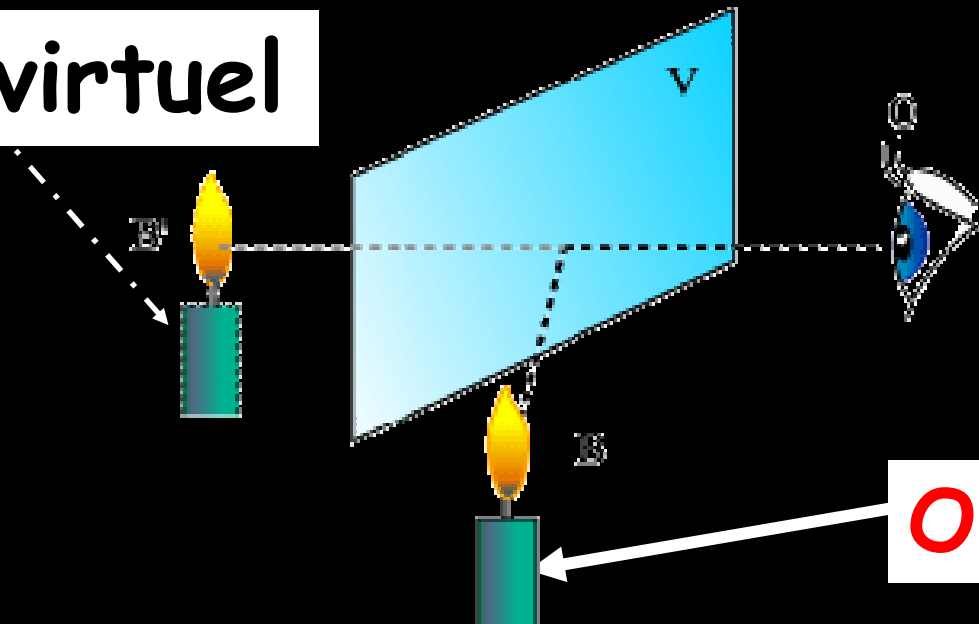
$$\overline{AH} = \overline{HA'}$$

A et A' sont conjugués par le miroir plan M

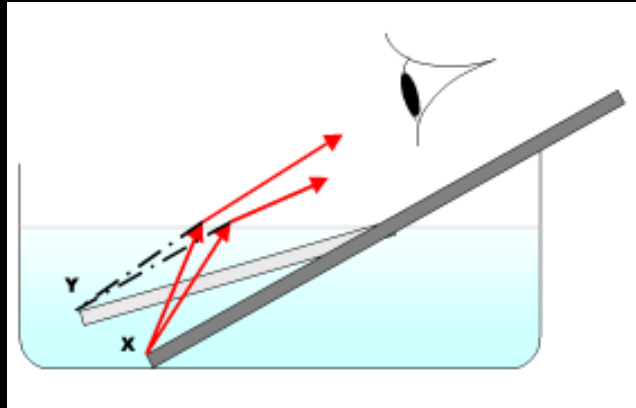
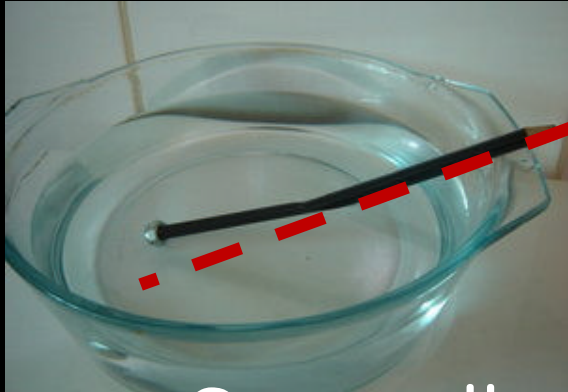


- **Objet réel** : quand des rayons lumineux sont réellement issus de cet objet
- **Objet virtuel** : quand les rayons lumineux semblent provenir de cet objet. Cet objet est l'intersection des prolongements des rayons lumineux.

Objet virtuel



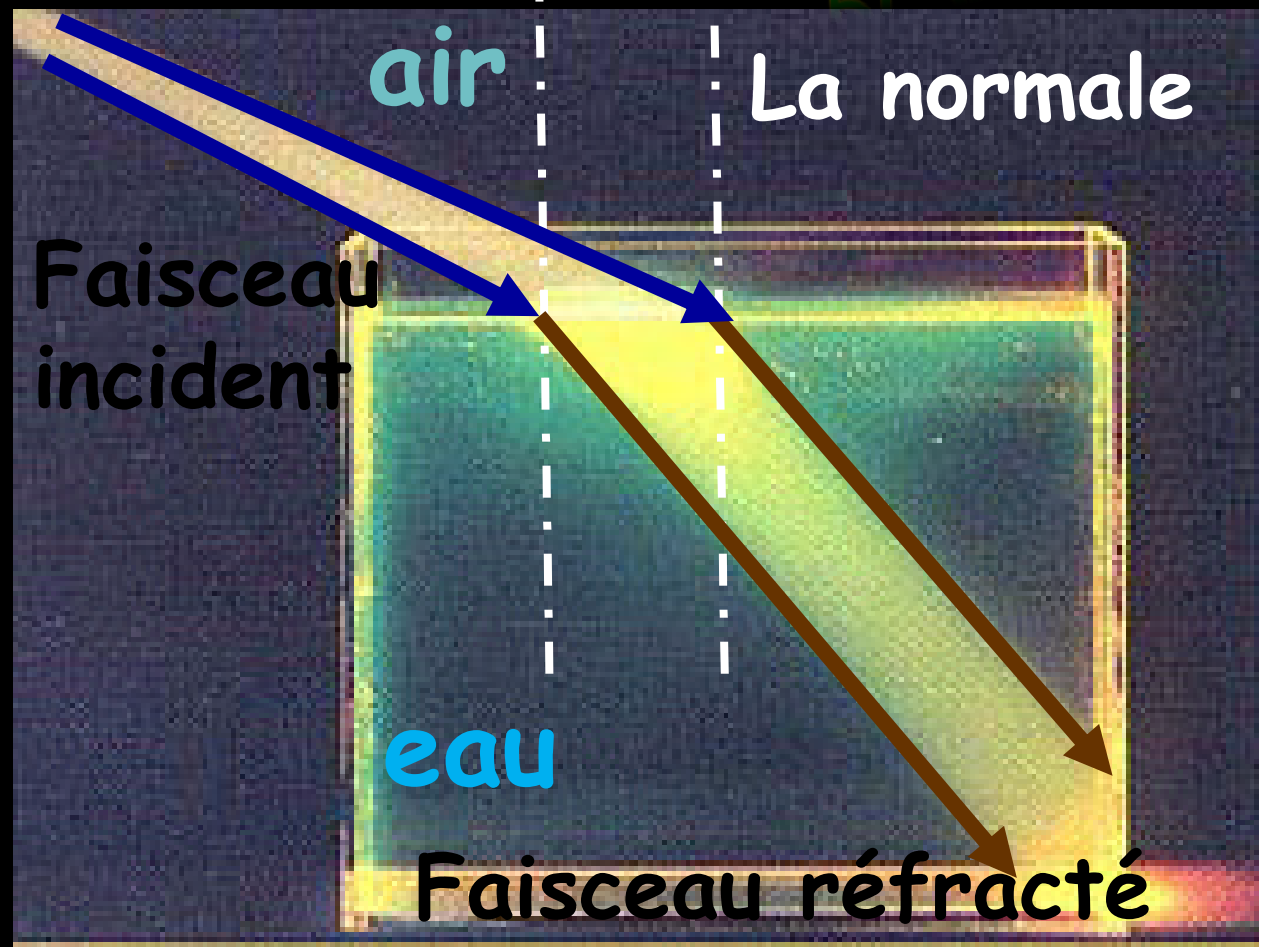
Objet réel



LE DIOPTRE PLAN

On appelle
dioptre plan la
surface plane
séparant deux
milieux
transparents et
homogènes
d'indices absolus
 n_1 et n_2
différents

$$n_1 \neq n_2$$



Conditions de Gauss

Lorsque le point objet n'envoie que des rayons incidents sensiblement proches à la normale au dioptre plan, autrement dit pour des angles i et r faibles, et les lois de Snell-Descartes s'écrivent comme suit :

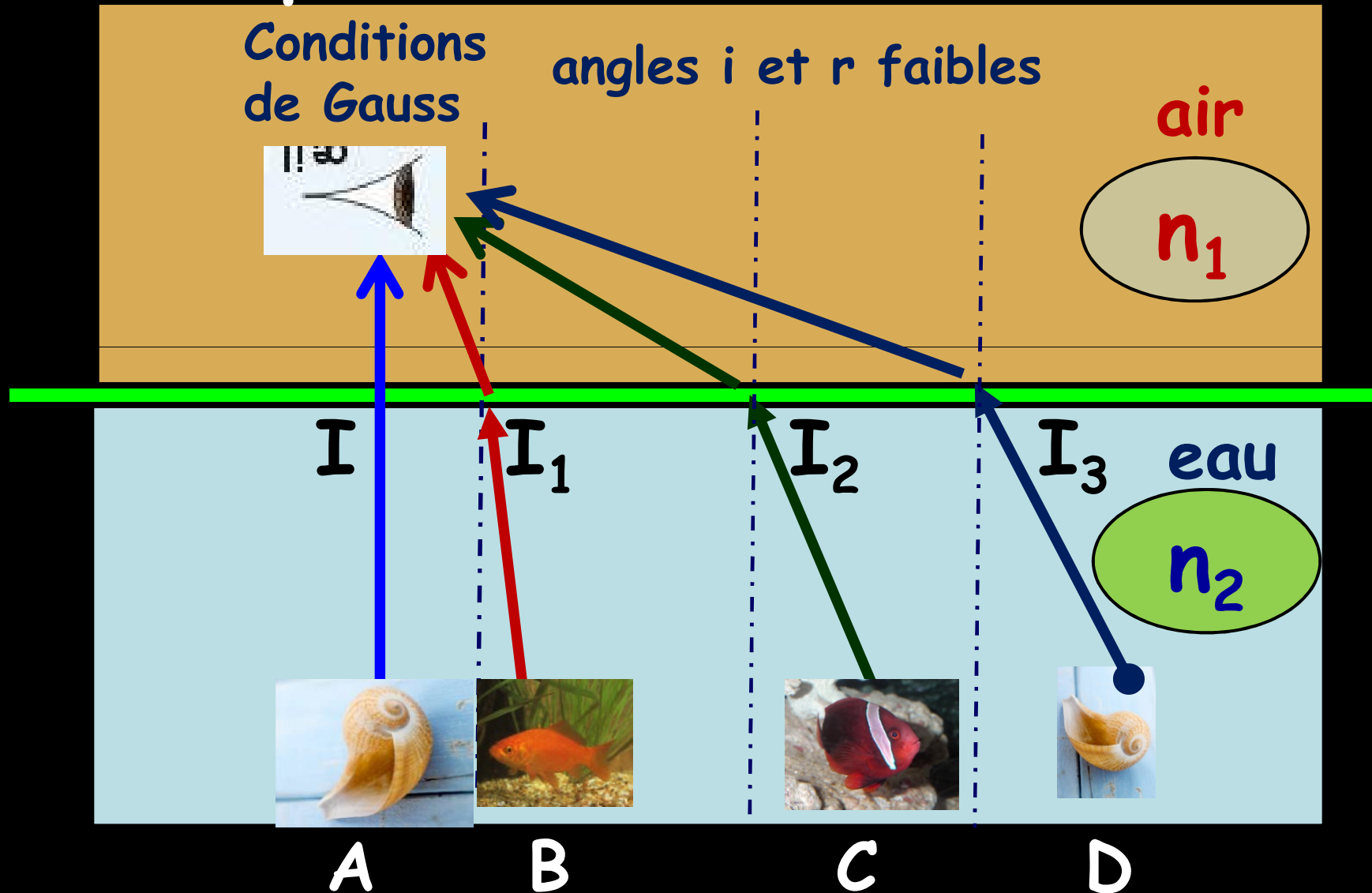
$$\underbrace{i = r}_{\text{Reflexion}}$$

et

$$\underbrace{n_1 \cdot i = n_2 \cdot i'}_{\text{Refraction}}$$

$$n_1 < n_2$$

A et B sont vus nettement,
par contre C et D sont flous

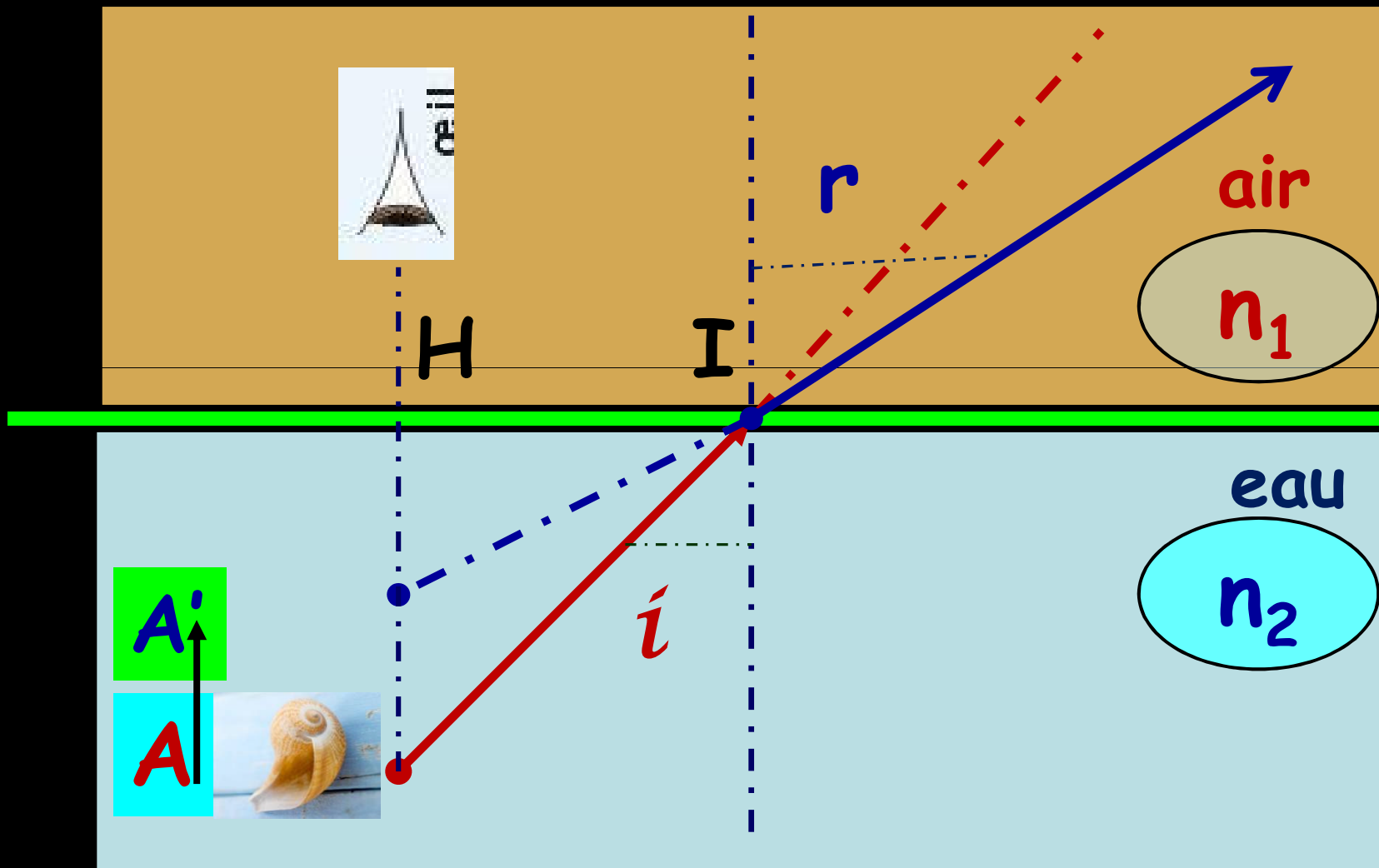


L'image d'un objet placé dans le milieu le plus réfringent :

- **En ramassant** une roche ou un coquillage que nous voyons sous l'eau, à portée de la main, nous sommes généralement étonnés de devoir **enfoncer** le bras plus que nous ne l'avions prévu.
- **Un bassin** paraît toujours plus profond quand il est vide.

$$n_1 < n_2$$

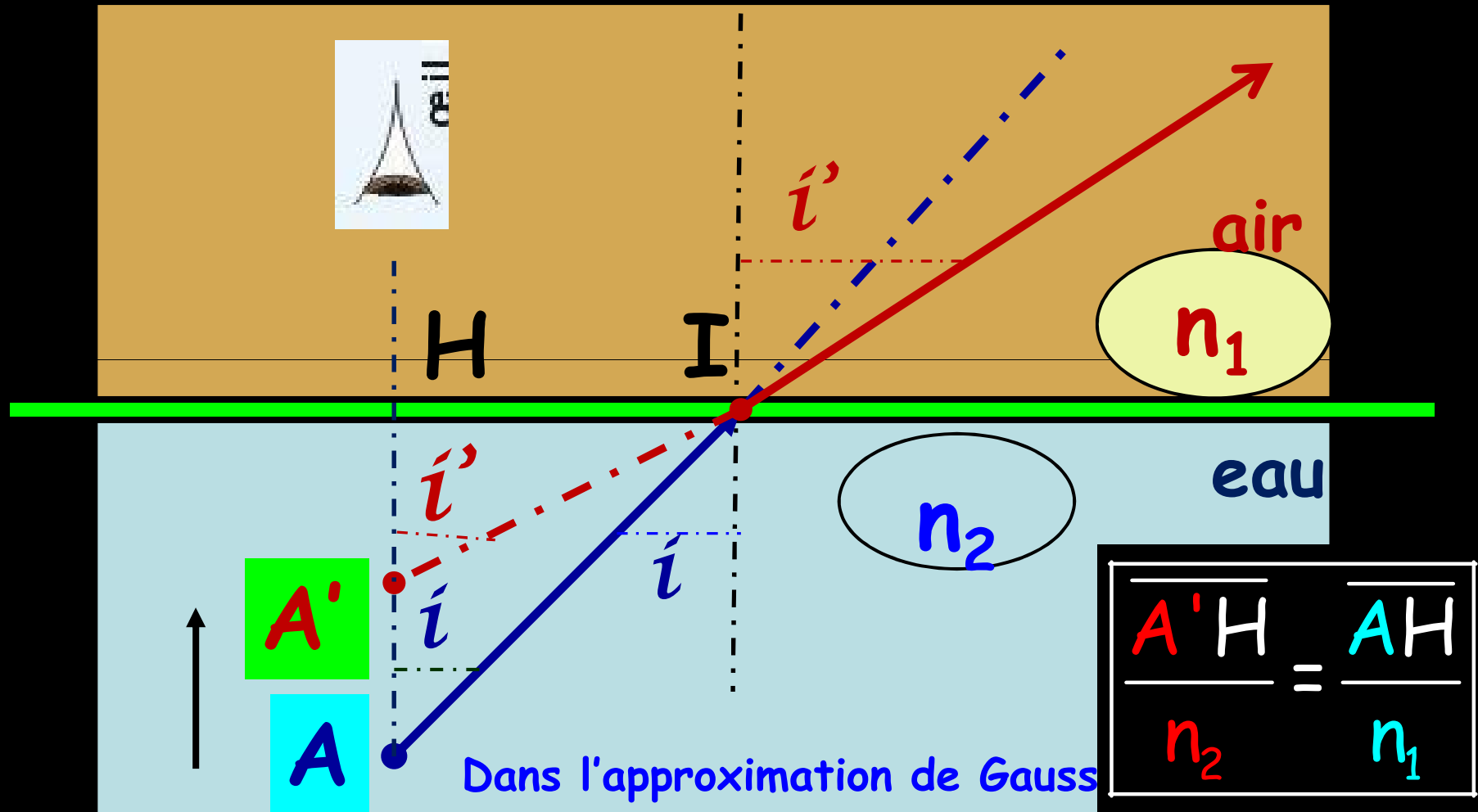
$$i \leq \Lambda \text{ avec } \sin(\Lambda) = \frac{n_1}{n_2}$$



A' est une image virtuelle

$$n_1 < n_2$$

$$\text{tgi} = \frac{\overline{HI}}{\overline{AH}} \quad \text{et} \quad \text{tgi}' = \frac{\overline{HI}}{\overline{A'H}} \quad \overline{AH.i} = \overline{A'H.i'} \Rightarrow$$



$$\frac{\overline{A'H}}{n_2} = \frac{\overline{AH}}{n_1}$$

La relation de conjugaison d'un dioptre plan

- Il est à remarquer que les points objet A et son image A' sont situés dans le même milieu. Donc, si l'un réel, l'autre est forcément virtuel.
- Le point image A' se déduit alors de son point objet A par une translation apparente d'amplitude :

$$\boxed{\frac{\overline{A'H}}{n_2} = \frac{\overline{AH}}{n_1}}$$

$$\overline{AA'} = \overline{AH} + \overline{HA'} = \overline{AH} - \overline{A'H} = \overline{AH} \cdot \left(1 - \frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$n_1 < n_2$$

Relation de conjugaison d'un dioptre plan (n_1, n_2)

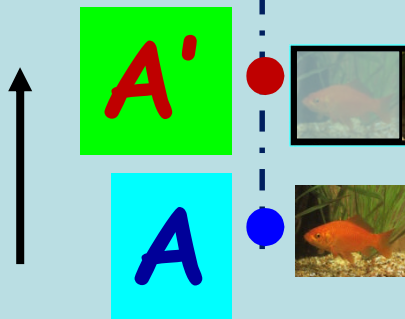
n_1 air



H

$$\frac{A'H}{n_2} = \frac{AH}{n_1}$$

Conditions de Gauss



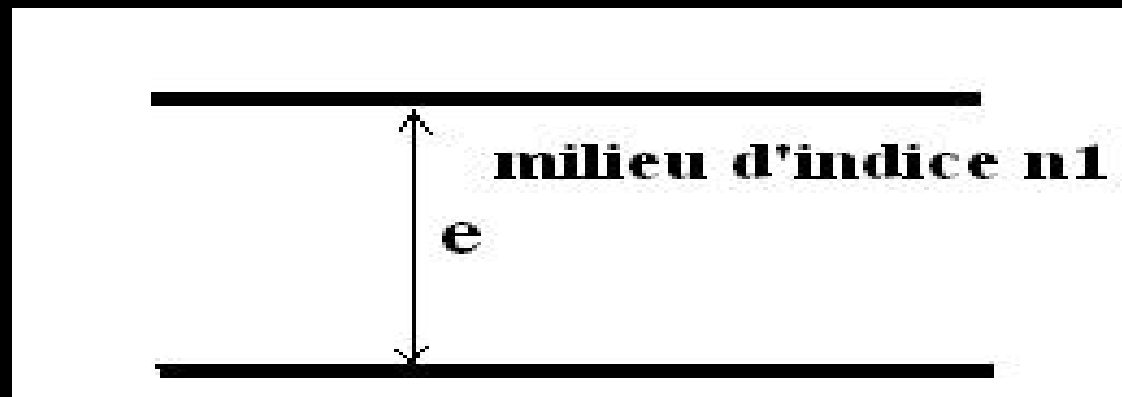
$$AA' = AH \cdot \left(1 - \frac{n_2}{n_1} \right)$$

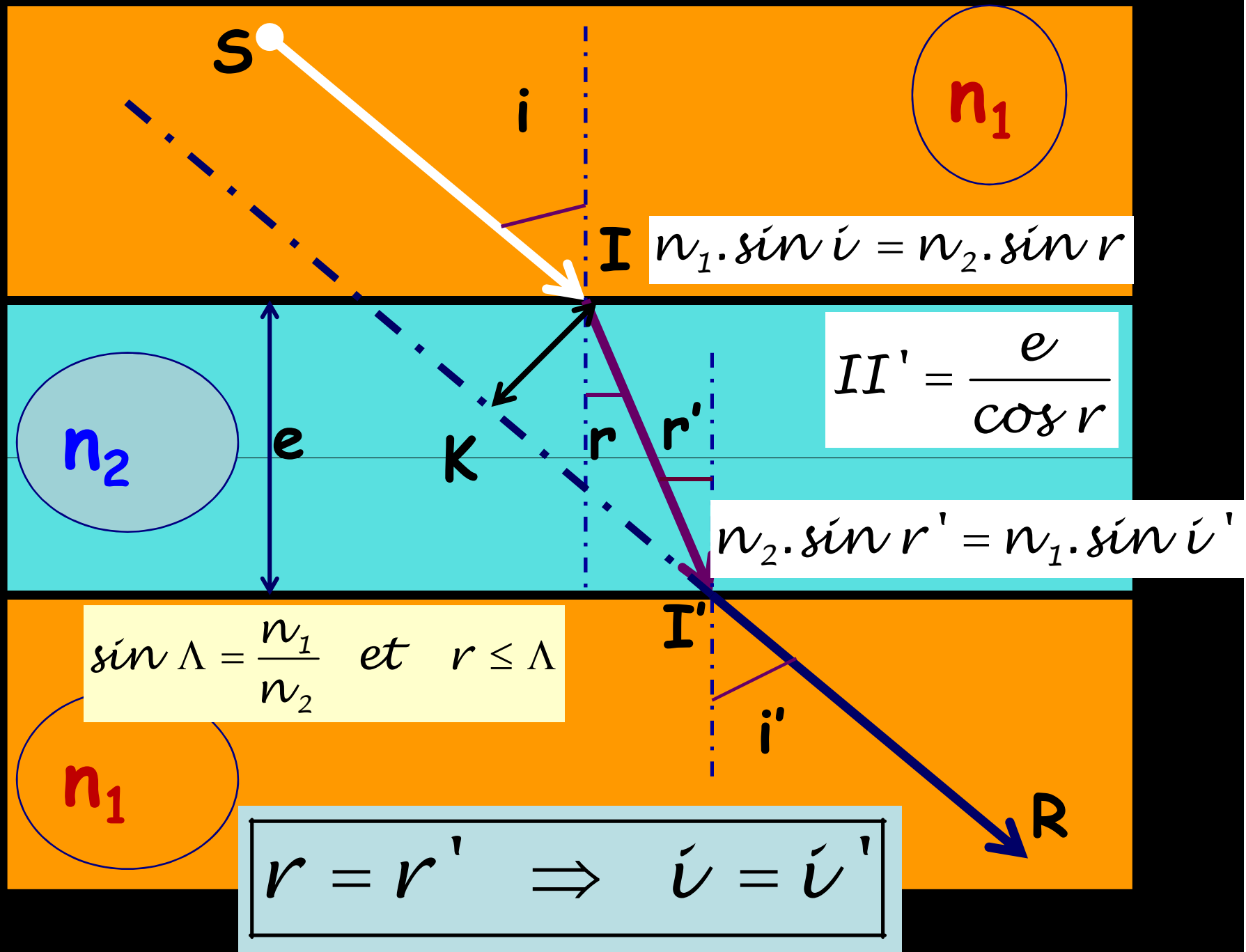
eau

n_2

Lame à faces parallèles

Définition : Une lame à faces parallèles est un milieu homogène et transparent limité par deux dioptries plans parallèles, à une distance e qui est l'épaisseur de la lame. Les milieux extrêmes peuvent être différents ou identiques.

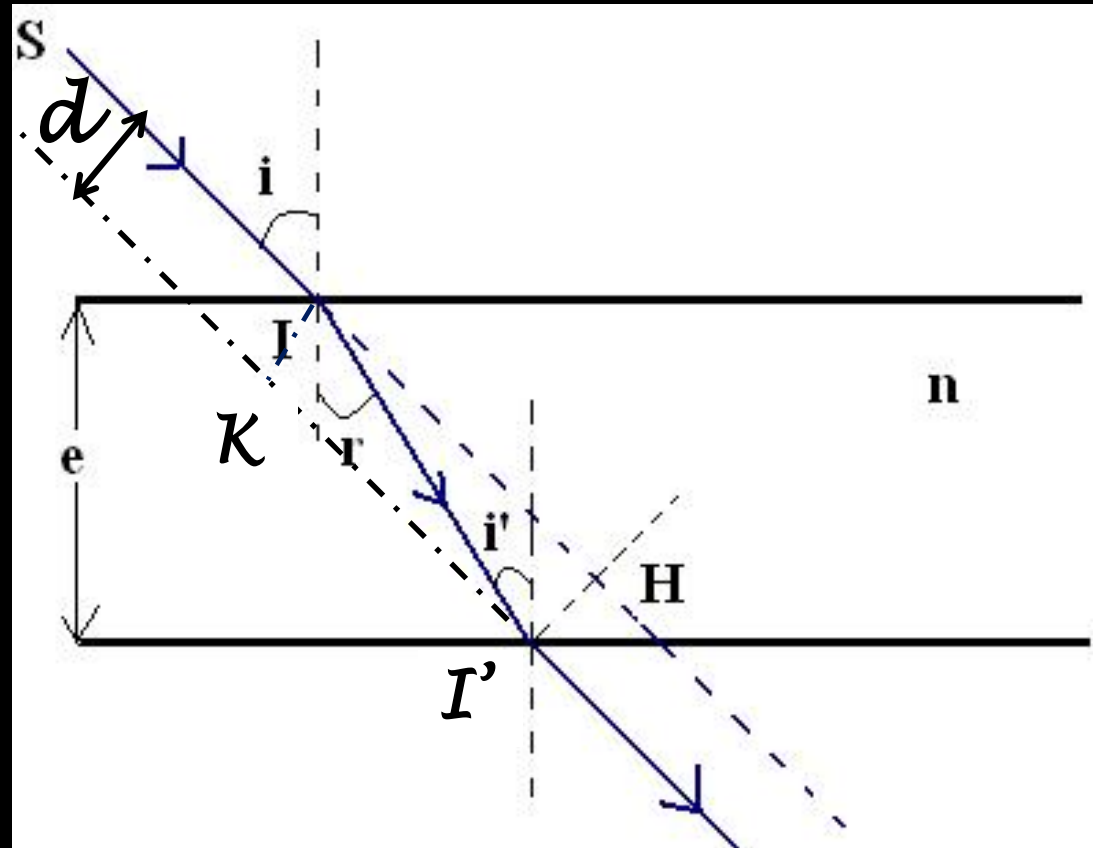




$$d = \overline{I'H} = \overline{IJ} \cdot \sin(i - r) \text{ avec } \overline{II'} = \frac{e}{\cos r}$$

$$\overline{I'H} = \overline{IK} = d = \frac{e}{\cos r} \cdot \sin(i - r)$$

Translation de la
quantité d du rayon
lumineux d'incidence
 i , par la lame à
faces parallèles
d'épaisseur e et
d'indice de
réfraction n



Si on se place dans les **condition de Gauss**, à savoir : **i** et **r** sont des angles petits
(**i** < 15° & **r** < 15°)

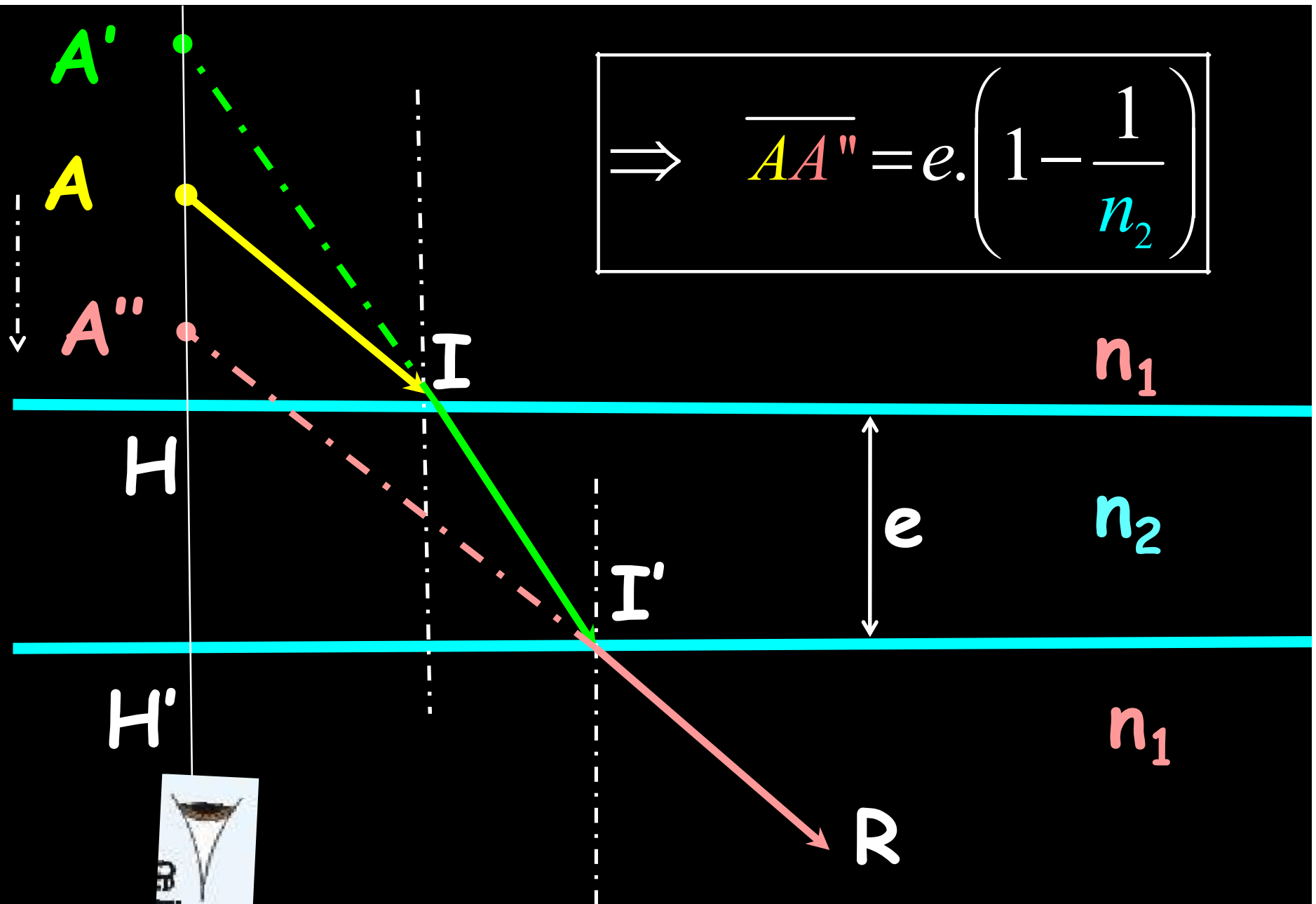
$$\sin i = n \cdot \sin r \Leftrightarrow i = n \cdot r$$

$$\text{et } \overline{IH} = d = \frac{e}{\cos r} \cdot \sin(i - r)$$

$$\text{avec } \sin(i - r) \approx i - r \approx i \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) \text{ et } \cos r \approx 1$$

$$\boxed{\overline{IH} = \overline{JS'} = d = e \cdot i \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right)}$$

$$\Rightarrow \overline{AA''} = e \cdot \left(1 - \frac{1}{n_2} \right)$$



Conditions de Gauss

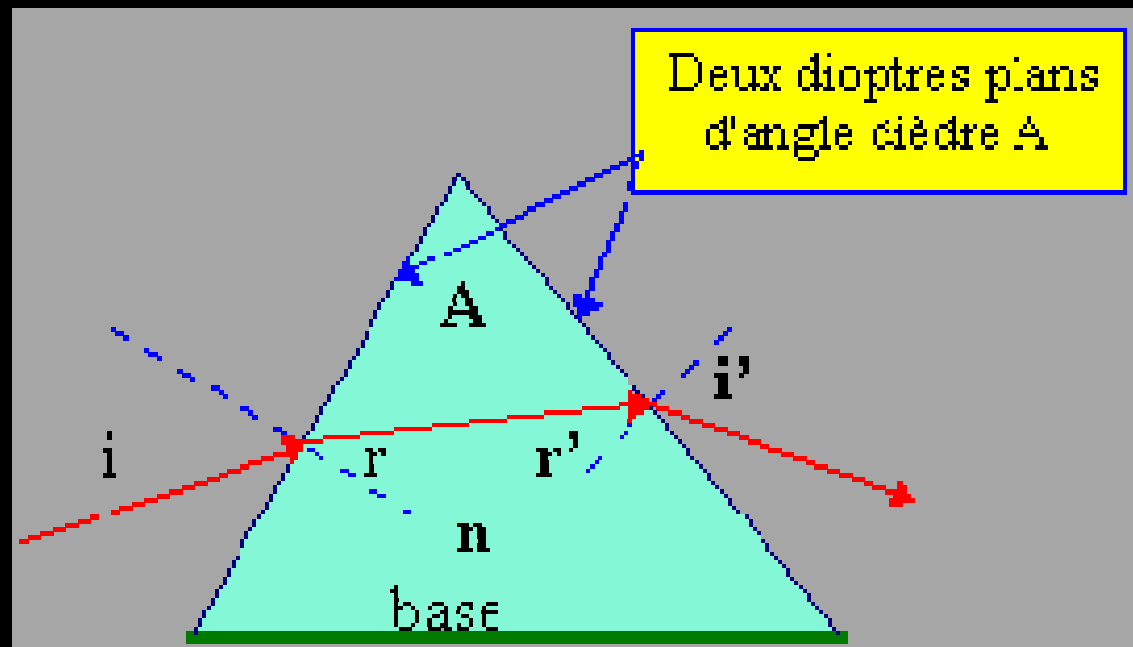
Cas où $n_1=1$ et $n_2=n$

Le prisme

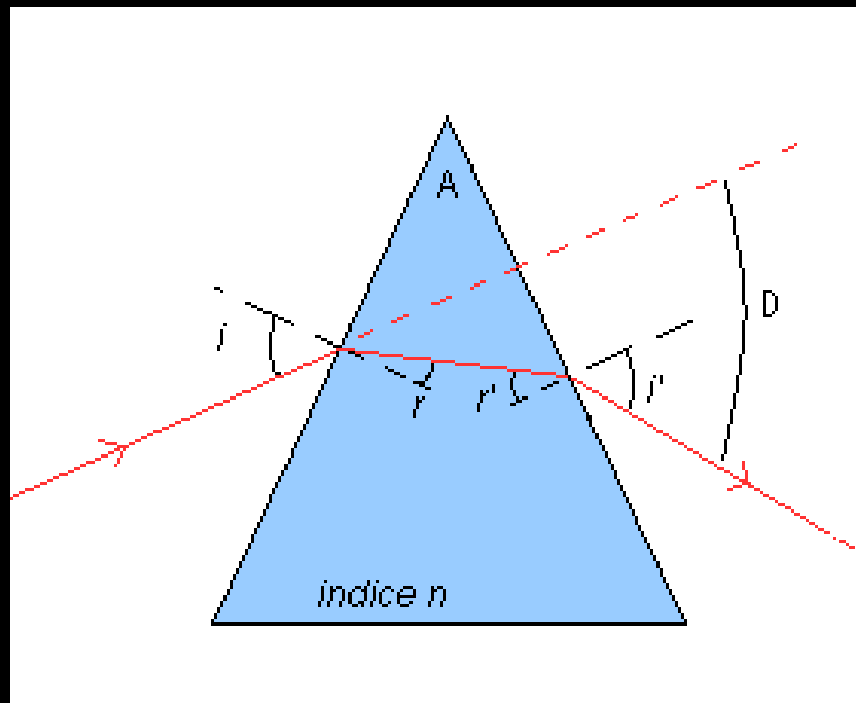
Définition : le prisme est un milieu réfringent limité par deux faces planes non parallèles.

Quand ces deux faces se coupent réellement, la droite d'intersection est **l'arête** du prisme, la face opposée à l'arête est **la base**. **L'angle** du prisme est défini par les deux faces non parallèles

L'interposition d'un prisme sur le trajet d'un faisceau monochromatique cylindrique provoque seulement une **dévi**ation, le faisceau reste cylindrique après la traversée de chacun des surfaces.



Déterminer la **mar**che d'un rayon lumineux à travers un prisme, revient à déterminer les relations mathématiques qui lient les paramètres : **A**, n , **i**, **r**, **r'** et **i'**.



Les formules du prisme :

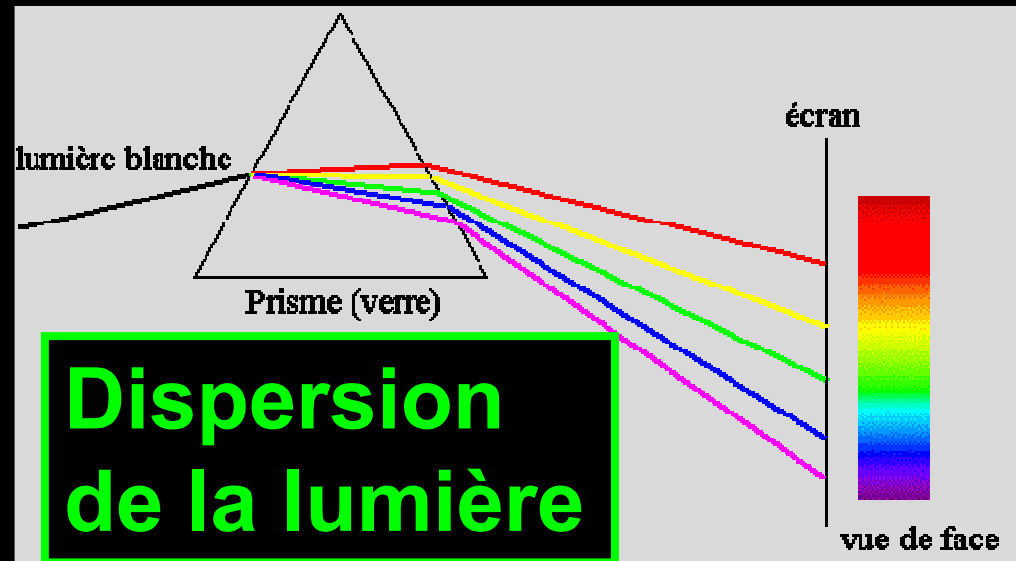
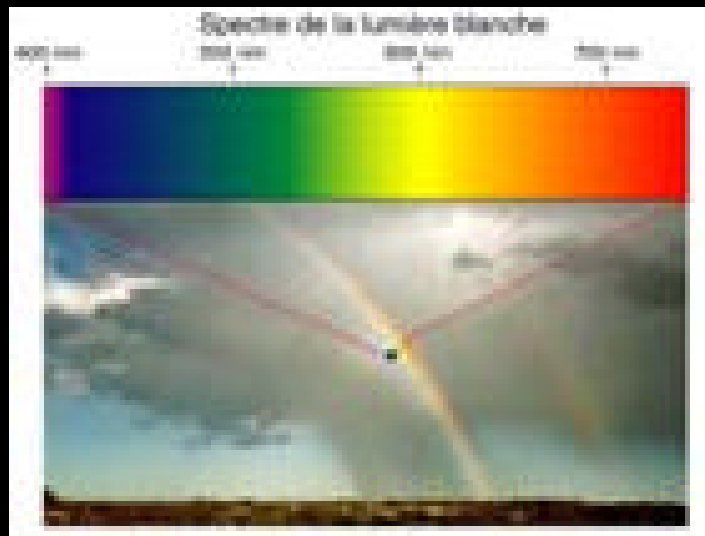
1. $\sin i = n. \sin r$

2. $\sin i' = n. \sin r'$

3. $A = r + r'$

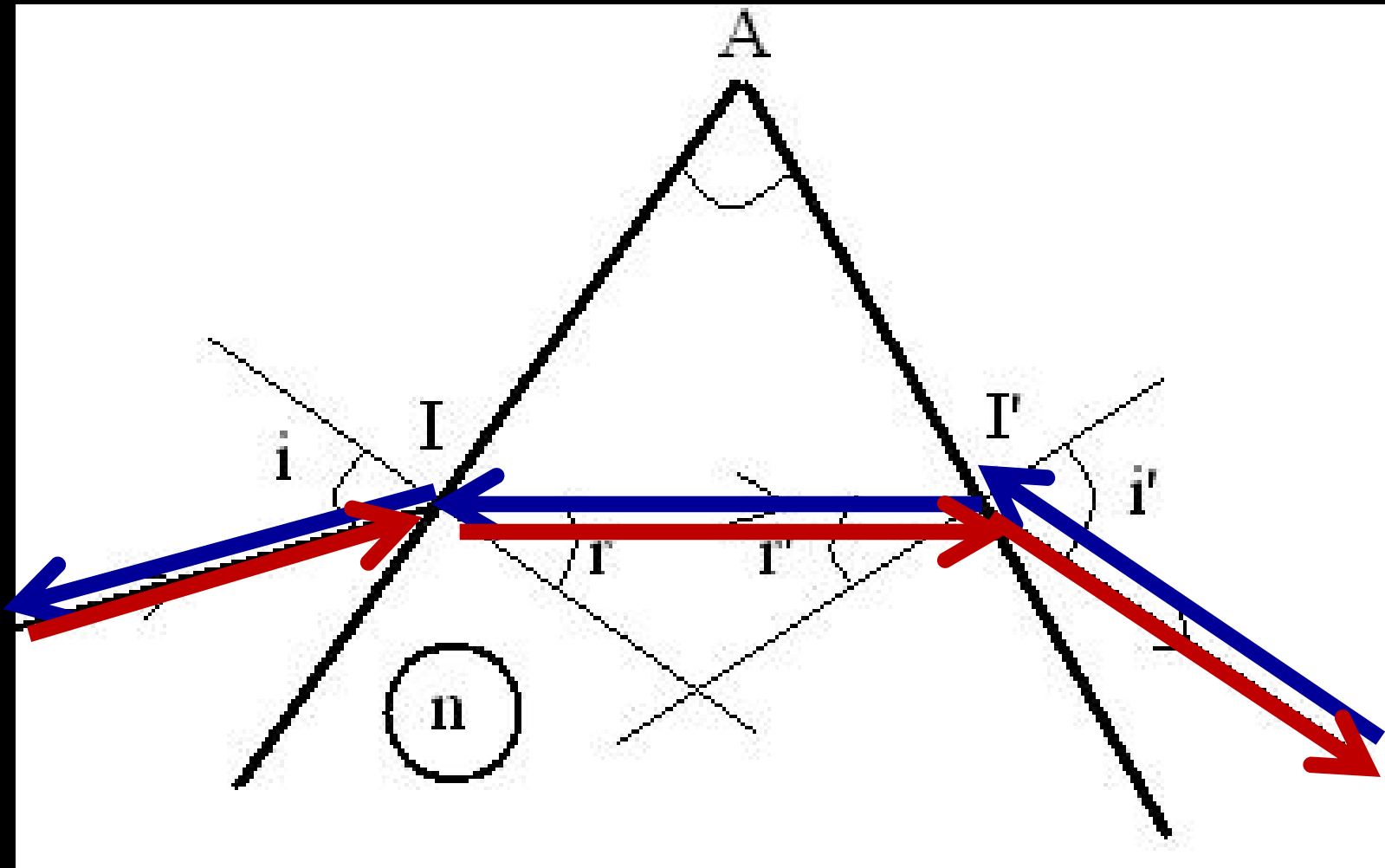
4. $D = i + i' - A$

Si l'on opère avec de la lumière blanche, le faisceau émergent n'est plus cylindrique, outre **la déviation**, il subit une décomposition en faisceaux colorés : le phénomène de la **dispersion** de la lumière complexe en lumières simples.



Décomposition de la lumière blanche

Remarque : Principe du retour inverse de la lumière



Si les angles A et i sont petits, il en résulte que r , r' et i' sont également petits, et les **formules du prisme** s'écrivent comme suit :

$$i = n.r$$

$$i' = n.r'$$

$$A = r + r'$$

$$D = n.r + n.r' - A = (n - 1).A$$

Les formules du prisme :

Dans le cas des petits angles, la **dévi**ation D est indépendante de l'angle d'incidence.

Exercice 8 : Etude d'un prisme **

Soit un prisme d'angle au sommet A et fabriqué dans un verre d'indice de réfraction n . Il est placé dans l'air d'indice $n_0=1$.

- Donner les relations liant i et r ; i' et r' ; r , r' et A .
- Définir graphiquement et exprimer la déviation D en fonction de i , i' et A dans le cas où le rayon émergent du prisme existe.
- Comment varie i' lorsque i croît ?
- a- Calculer la valeur de l'angle de réfraction limite au point I' .
- b- En déduire qu'il existe une valeur A_M de A au-delà de laquelle il n'y aura aucun rayon émergent, quel que soit l'angle d'incidence i . Calculer A_M pour $n=1,5$.

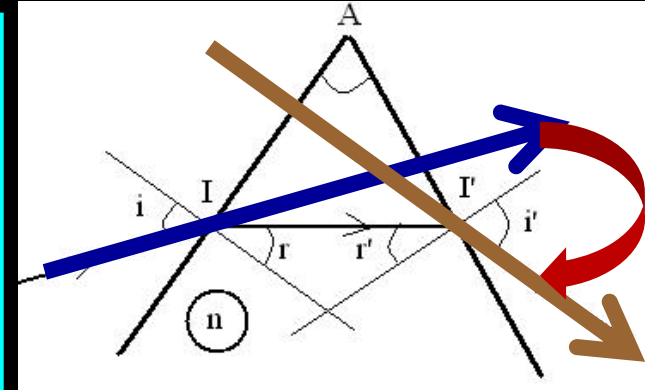
• On éclaire ce prisme par une lumière blanche.

a- Quel est le phénomène observé à la sortie du prisme.

b- Quelle est la radiation la plus déviée ? Quelle est la radiation la moins déviée ?

Les formules du prisme :

1. $\sin i = n \cdot \sin r$
2. $\sin i' = n \cdot \sin r'$
3. $A = r + r'$
4. $D = i + i' - A$



$$\begin{array}{ccccccc} i \nearrow & \Rightarrow & r \nearrow & \Rightarrow & r' \searrow & \Rightarrow & i' \searrow \\ \underbrace{\sin i = n \sin r} & & \underbrace{r + r' = A} & & \underbrace{\sin i' = n \sin r'} & & \end{array}$$

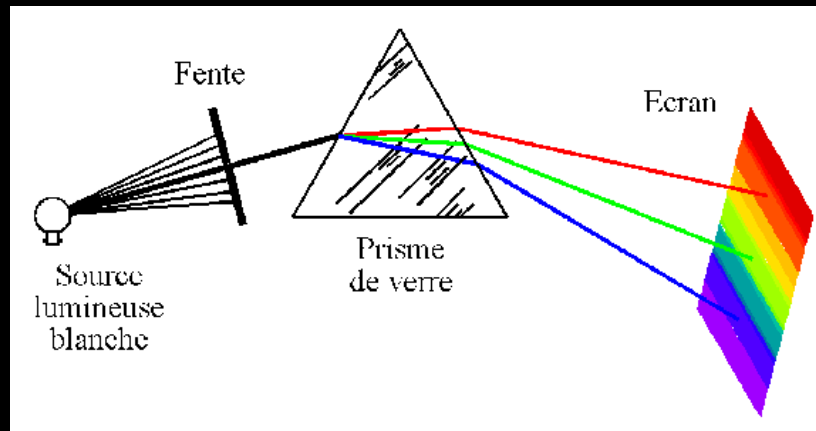
$$\sin \Lambda = \frac{1}{n} = \frac{2}{3} = 0,66 \Rightarrow \boxed{\Lambda = 41,81^\circ \simeq 42^\circ}$$

$$\underbrace{r + r'}_{\substack{r < \Lambda \\ r' < \Lambda}} = A \Rightarrow A \leq 2.\Lambda \Rightarrow \boxed{A_{\max} = 2.\Lambda}$$

Pour avoir une réfraction aux points I et I', il faut que $A \leq 2.\Lambda$. Si $A > 2.\Lambda$ alors on aura une réflexion totale sur la 2^{ème} face du prisme.

Le phénomène observé est la **dispersion** de la lumière blanche par le prisme.

Dispersion de la lumière



Fin...



Surface sphérique : **Miroir**, **dioptre** et **lentille**

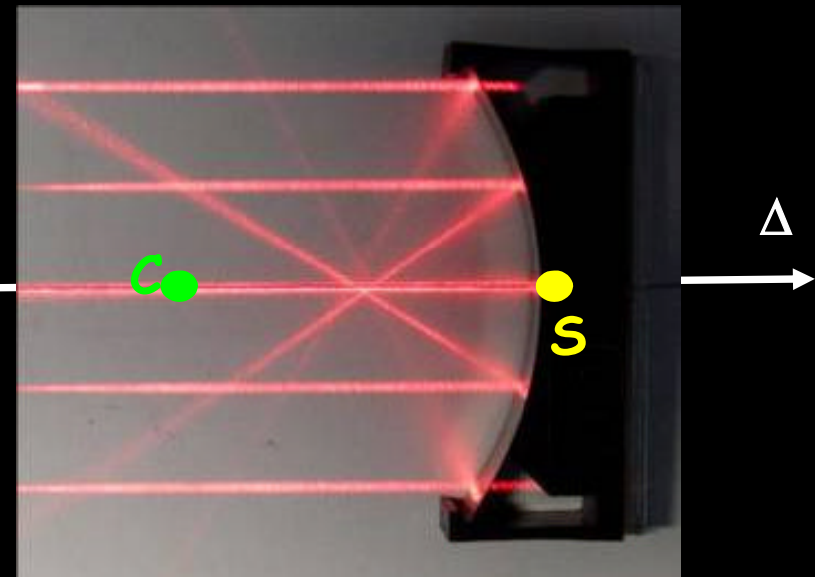
SVT session d'automne 2012

Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

Les miroirs sphériques

Définition :

Un **miroir sphérique** est une portion de sphère réfléchissante, de centre **C** et de sommet **S**. Le **rayon** du miroir sphérique est défini par la mesure algébrique : $R = \overline{SC}$. **CS** est l'axe principal optique (Δ) de ce miroir sphérique. La **surface réfléchissante** s'obtient par un dépôt métallique.



Il est à noter que l'origine de l'axe optique Δ peut être fixée arbitrairement en **C** ou en **S**.

Miroirs convexes

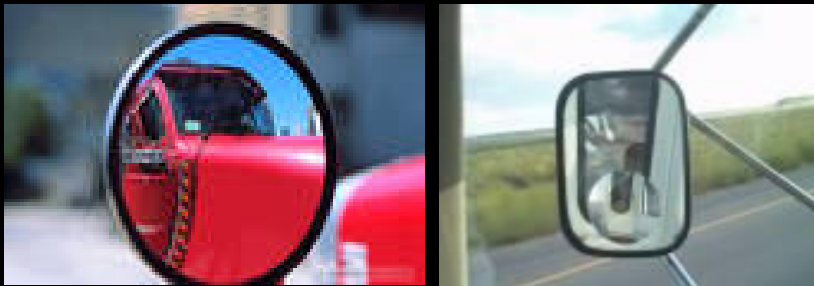


Miroirs de surveillance

Miroir de sortie d'usine



rétroviseurs de camion



Exemples :

Miroir plan

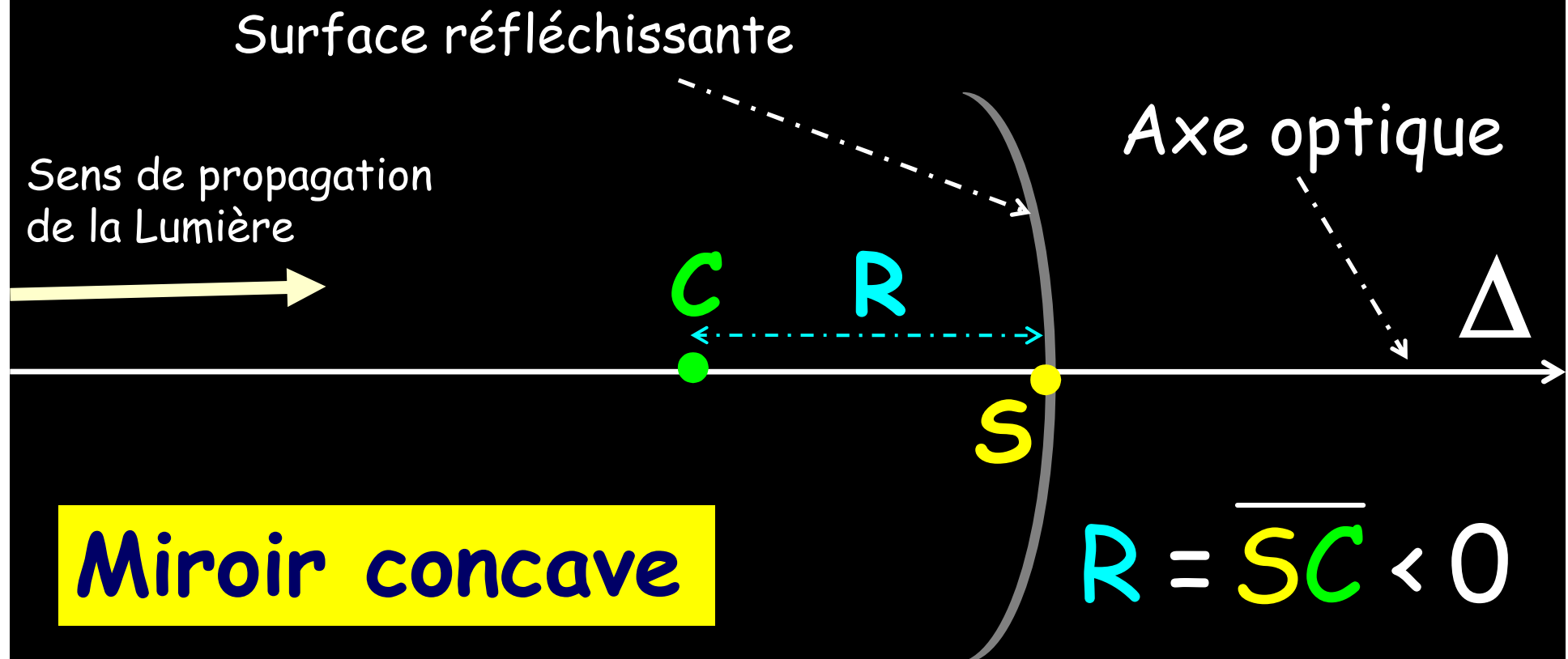
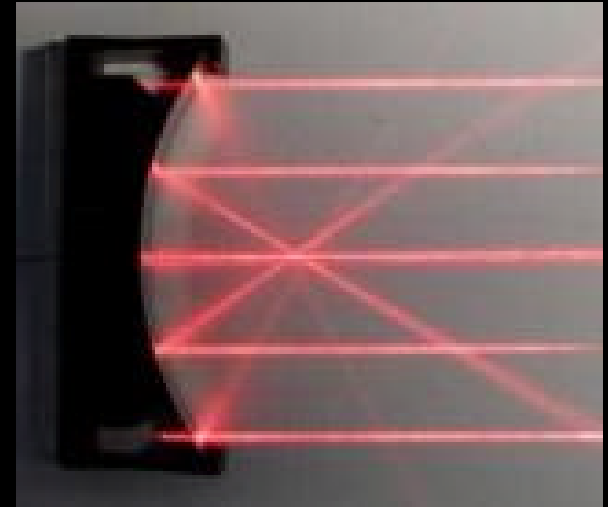


Miroir concave

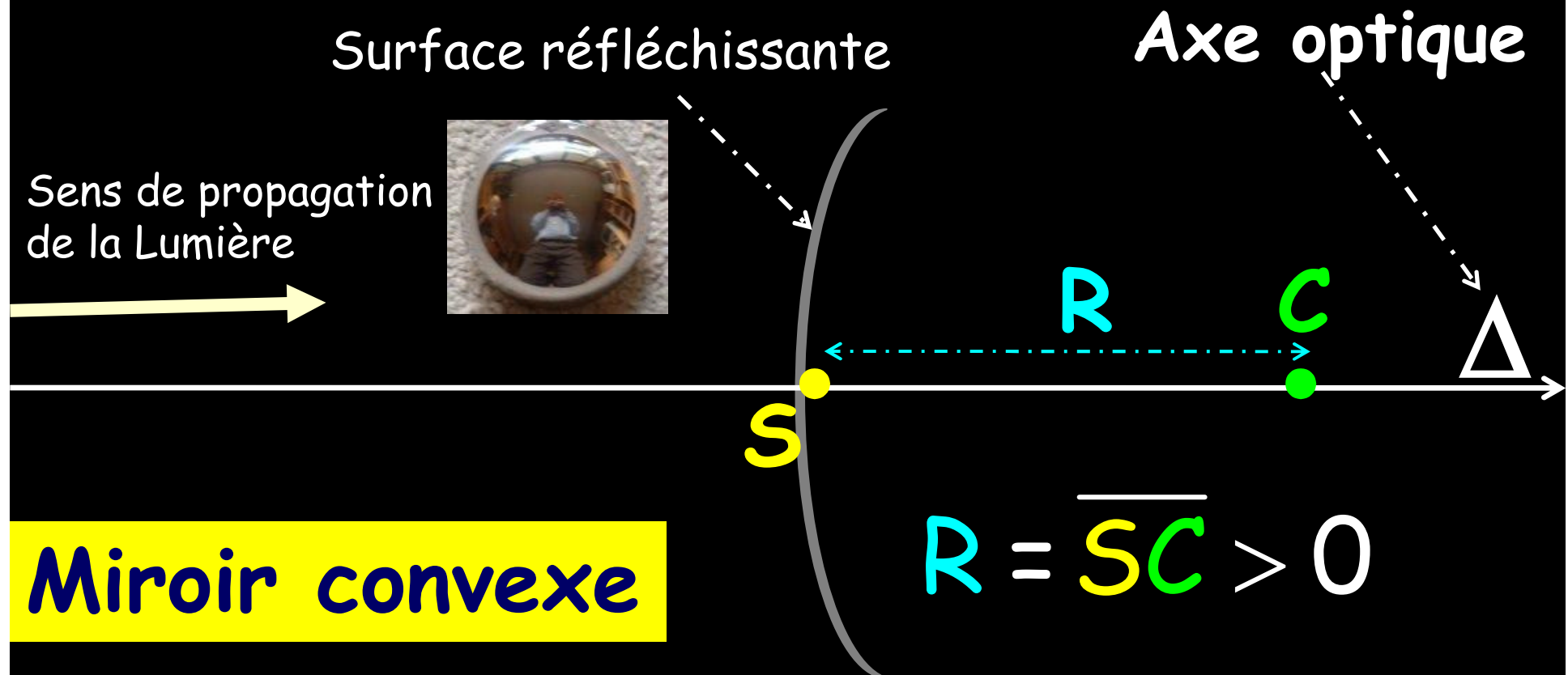


Un miroir sphérique peut être **concave** ou **convexe**.

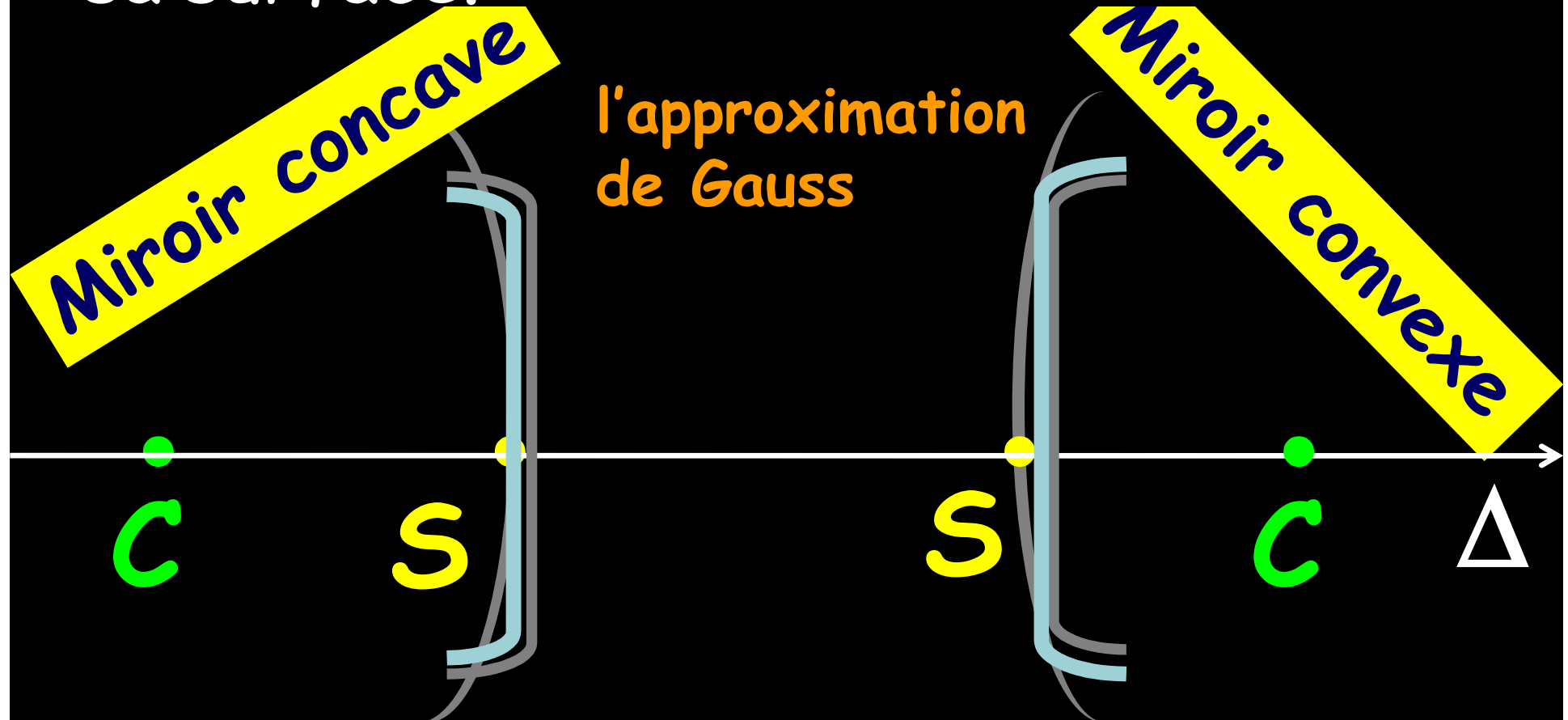
Un miroir sphérique est **concave** si sa surface réfléchissante est du même côté que le centre **C** de la sphère.



Un miroir sphérique est **convexe** si sa surface réfléchissante n'est pas du même côté que le centre **C** de la sphère.



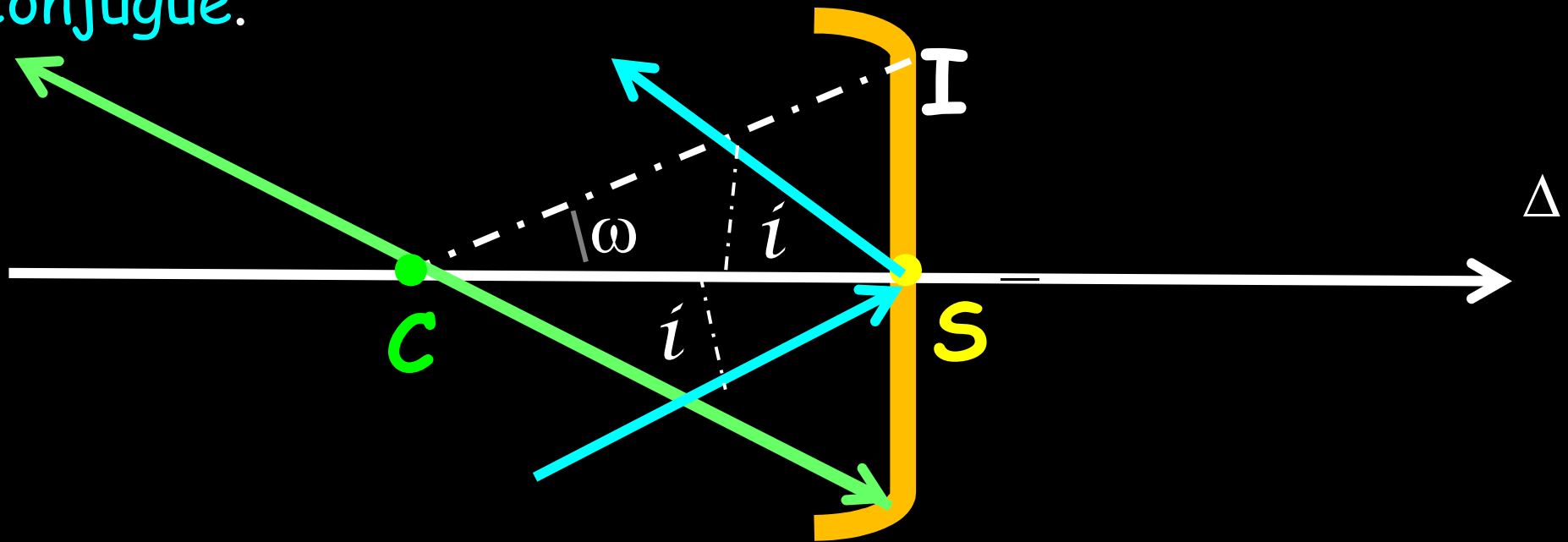
Par convention, dans l'approximation de Gauss, un miroir sphérique de sommet S et de centre C est représenté par le plan tangent en S à sa surface.



Propriétés du miroir sphérique

Les points cardinaux

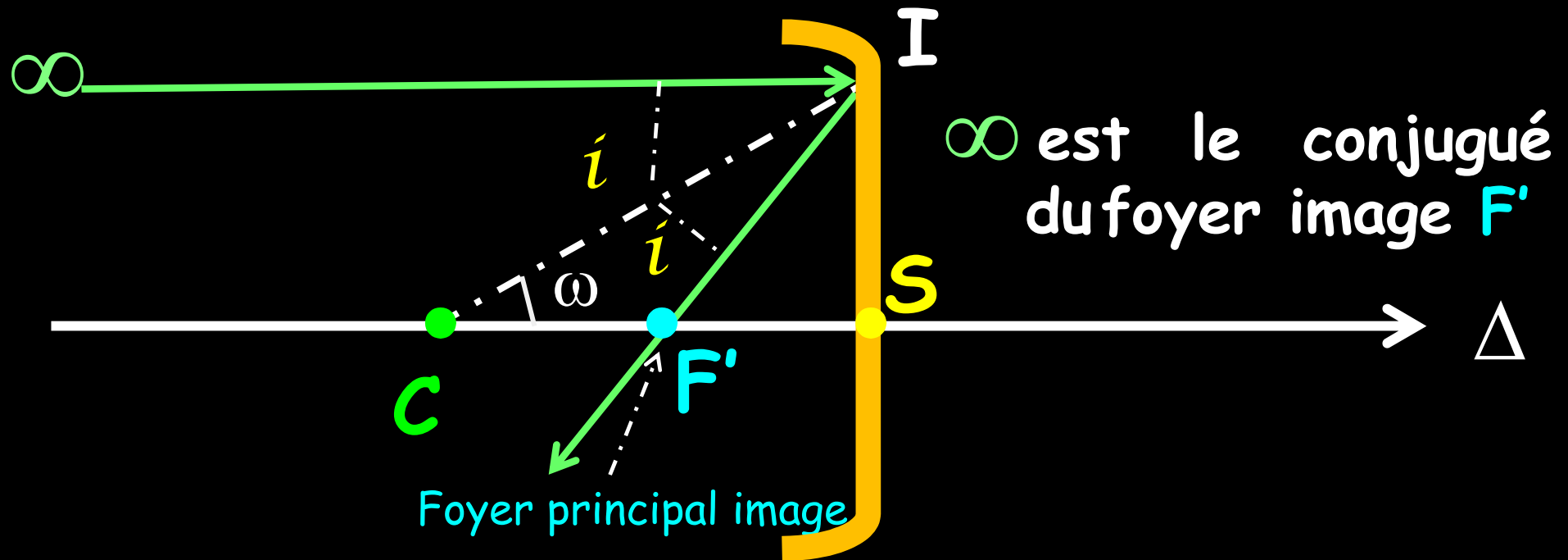
Tout rayon lumineux passant par le centre **C** d'un miroir sphérique, subit une réflexion sur ce miroir en repassant par le point **C**. Le point **C** est son propre conjugué.



Tout rayon lumineux passant par le sommet **S** d'un miroir sphérique, subit d'une façon symétrique une réflexion sur ce miroir en repassant par le sommet **S**.

Le point **S** est son propre conjugué.

Loi de Snell-Descartes pour la réflexion



Un point objet à l'infini sur l'axe principal envoie un rayon lumineux incident **parallèle** à cet **axe optique principal** Δ . Ce rayon lumineux rencontre le miroir en I . la normale de ce miroir au point I est son rayon CI . On constate que $i = \omega$ (angles alternes internes).

Dans l'approximation de Gauss, ω est petit et $\cos \omega \sim 1$. Par suite nous aurons :

$$\overline{CF'} = -\frac{\overline{SC}}{2}$$

Le **foyer image** F' est à la moitié du rayon du miroir sphérique

Le **principe du retour inverse** de la lumière montre qu'un rayon lumineux issu de F' se réfléchit sur le miroir sphérique en sortant parallèlement à son axe principal.

Le **foyer image** F' est et le **foyer objet** F sont confondus avec le milieu du segment CS du miroir sphérique.

$$\overline{CF'} = \overline{CF} = -\frac{\overline{SC}}{2}$$

Foyer image F' :

objet A à l'infini image A' au foyer

$$f' = \overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

f' : distance focale image

F' : foyer principal image

Foyer objet F :

objet A au foyer image A' à l'infini

$$f = \overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

f : distance focale objet

F : foyer principal objet

Vergence d'un miroir sphérique :

La vergence d'un miroir sphérique de sommet **S** et de centre **C** est définie comme l'inverse de sa distance focale. C'est une expression algébrique. L'unité de la vergence est donc le **mètre⁻¹**, **m⁻¹**, appelé **dioptrie** et notée **δ**.

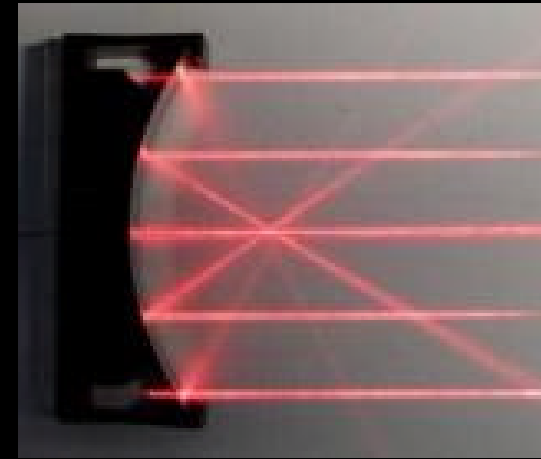
$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{SF'} = \frac{2}{SC} = \frac{1}{f} = \frac{1}{SF}$$

Indice de réfraction de l'air

Miroir **concave** est **convergent** avec une vergence **négative**, ses foyers sont **réels**.

$$V = \frac{1}{SF'} < 0$$

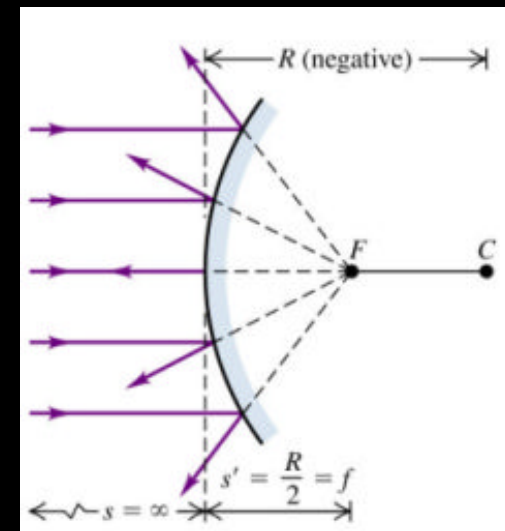
Foyers réels



• Miroir **convexe** est **divergent** avec une vergence **positive**, ses foyers sont **virtuels**.

$$V = \frac{1}{SF'} > 0$$

Foyers imaginaires



Il est à noter que ces formules sont des relations entre les positions et les dimensions de l'objet AB et de son image A'B'.

Elles sont établies et valables dans les conditions de l'approximation de Gauss.

Pour obtenir la relation de conjugaison, il suffit de considérer les points situés sur l'axe principal optique Δ du miroir.

Il est à souligner qu'il y a 3 expressions de la relation de conjugaison, reliant les abscisses du point objet **A** et de son point image **A'**, en utilisant trois origines différentes à savoir :

1. le sommet **S**,
2. le centre **C**,
3. le foyer objet **F**
du miroir sphérique **M**.

Relation de conjugaison :

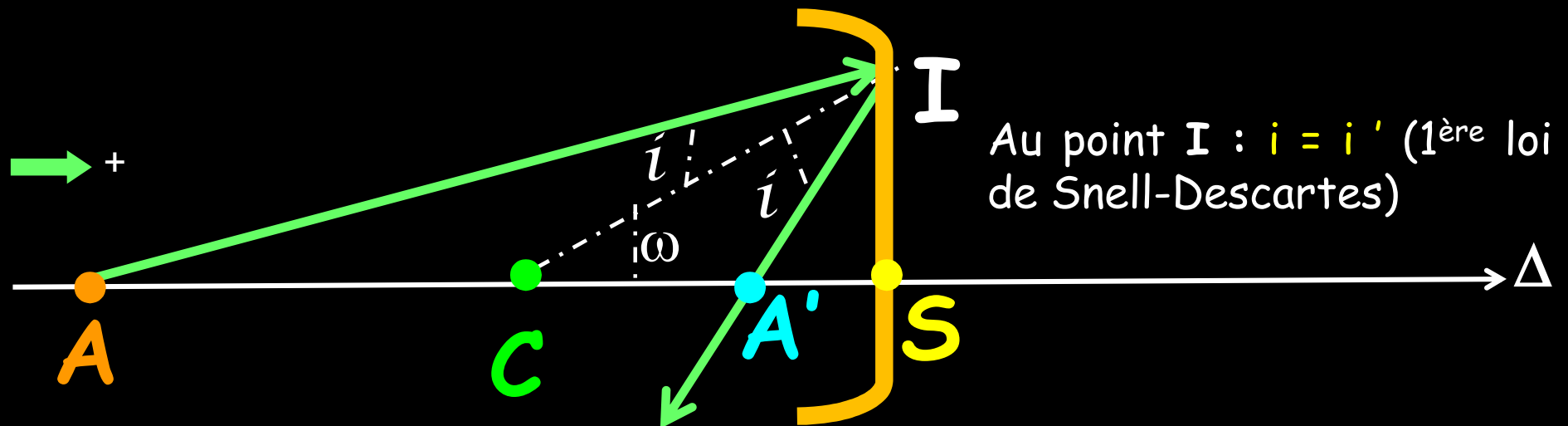
Origine au sommet **S** :

Instrument

Image + Objet = optique

$$\frac{1}{SA'} + \frac{1}{SA} = \frac{2}{SC} = \frac{1}{SF'}$$

origine de l'axe optique Δ est fixée au sommet **S**.



On appelle grandissement linéaire d'un miroir sphérique pour une position de l'objet AB , le rapport entre une dimension linéaire de l'image $A'B'$ et celle de de l'objet AB .

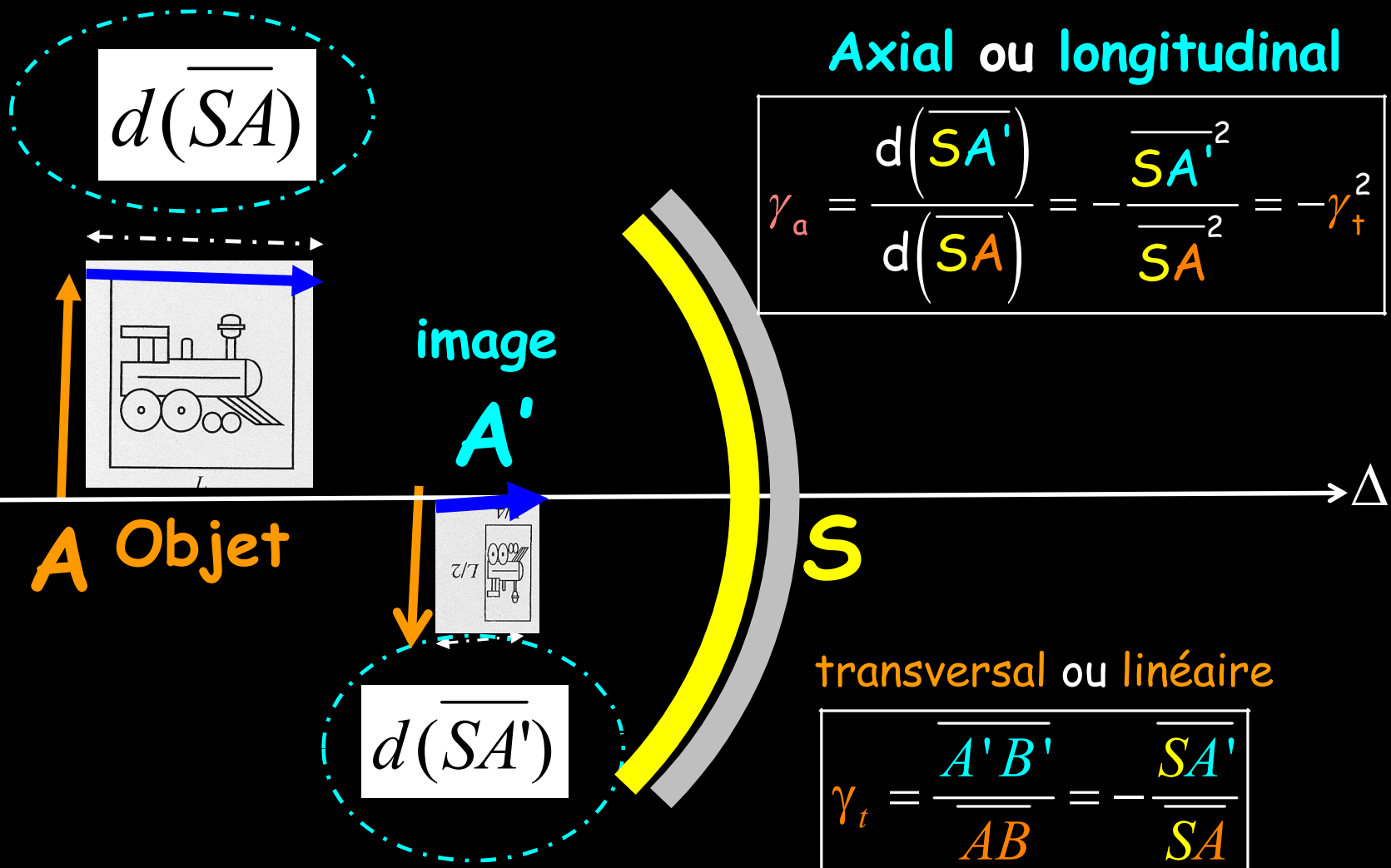
$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = - \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

- Grandissement longitudinal

$$\gamma_{axial} = \frac{d(\overline{SA'})}{d(\overline{SA})}$$

Axial ou longitudinal

$$\gamma_a = \frac{d(\overline{SA'})}{d(\overline{SA})} = -\frac{\overline{SA'}^2}{\overline{SA}^2} = -\gamma_t^2$$



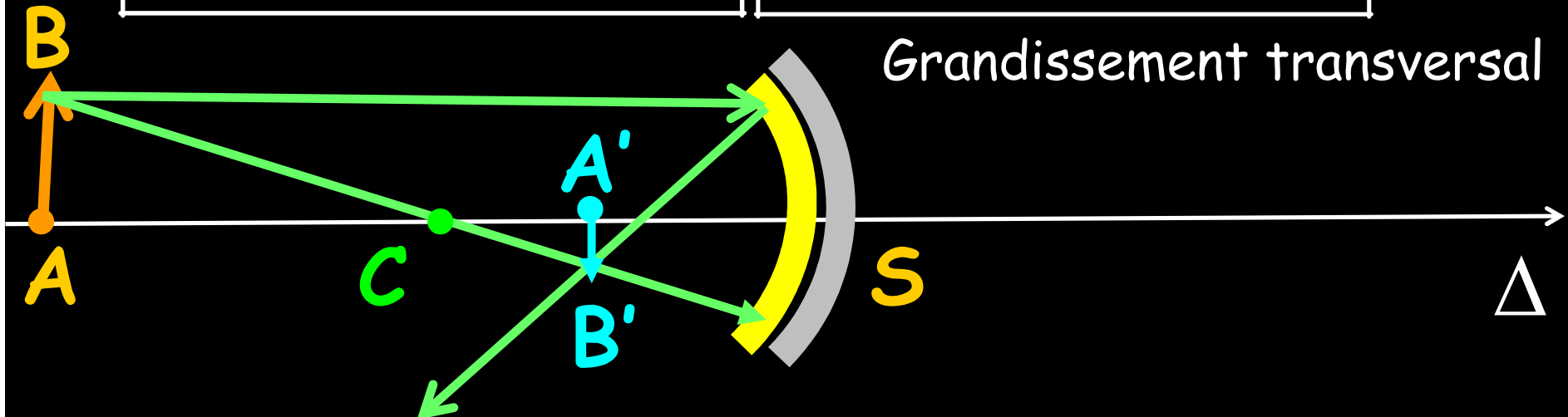
transversal ou linéaire

$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

Origine au centre C :

Les positions de AB et de son image $A'B'$ sont liées par la relation définie comme suit :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{CA'}} + \frac{1}{\overline{CA}} = \frac{2}{\overline{CS}}} \quad \boxed{\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}}}$$



Origines aux foyers. Formules de Newton

En prenant pour origine le foyer F , les quatre points F , S , A et A' sont liés par les relations suivantes :

$$\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = \overline{F'S} \cdot \overline{FS} = \overline{FA'} \cdot \overline{FA} = \overline{FS}^2$$

$$\gamma_{\text{transversal}} = -\frac{\overline{FA'}}{\overline{SF}} = -\frac{\overline{SF}}{\overline{FA}} \quad \text{Grandissement transversal}$$

Les formules de Newton

construction d'image

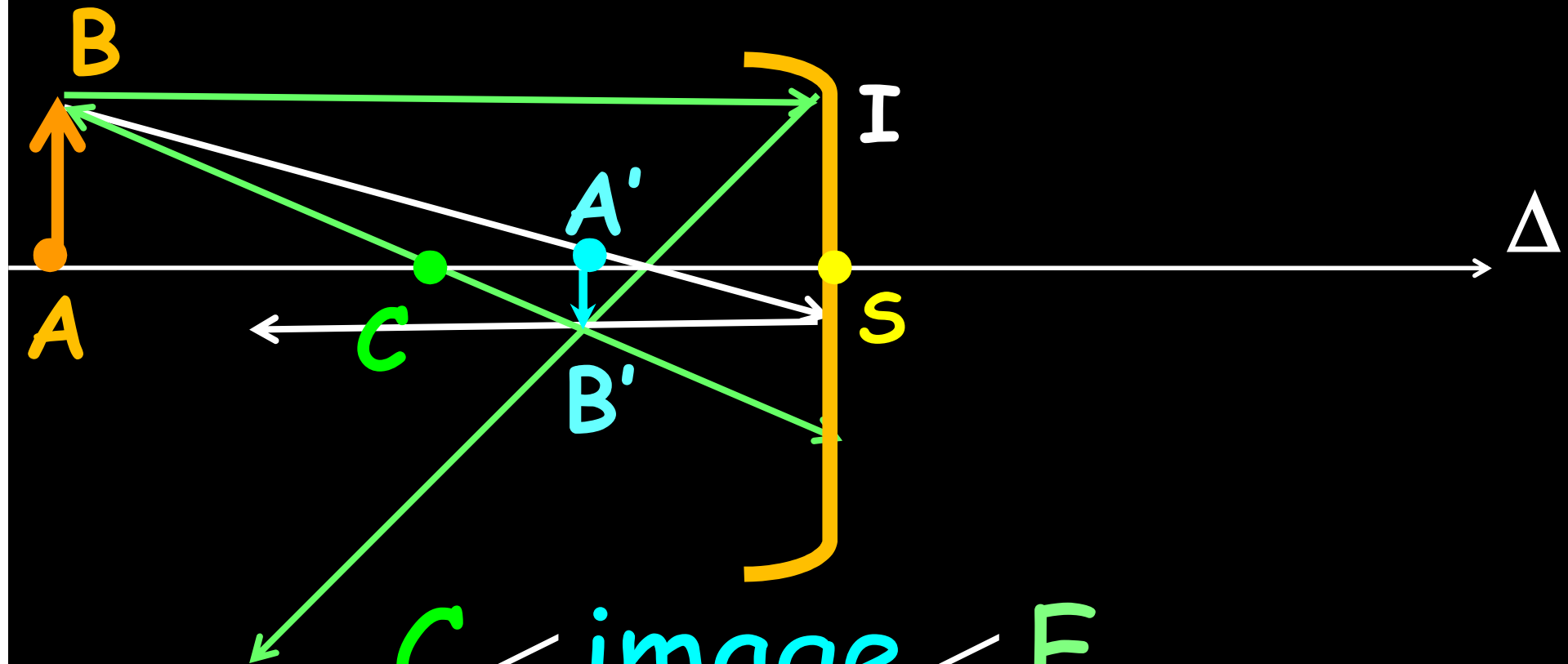
utilisation au moins de 2 sur 3 rayons particuliers

- tout rayon passant par le centre du dioptre n'est pas dévié
- tout rayon passant par F ressort // à l'axe optique Δ
- tout rayon // à l'axe optique Δ passe par F'

Objet réel

$$-\infty < \text{objet} < C$$

Cas n°1



$C < image < F$
Image réelle renversée

Objet réel

Cas n°2

objet = C = image

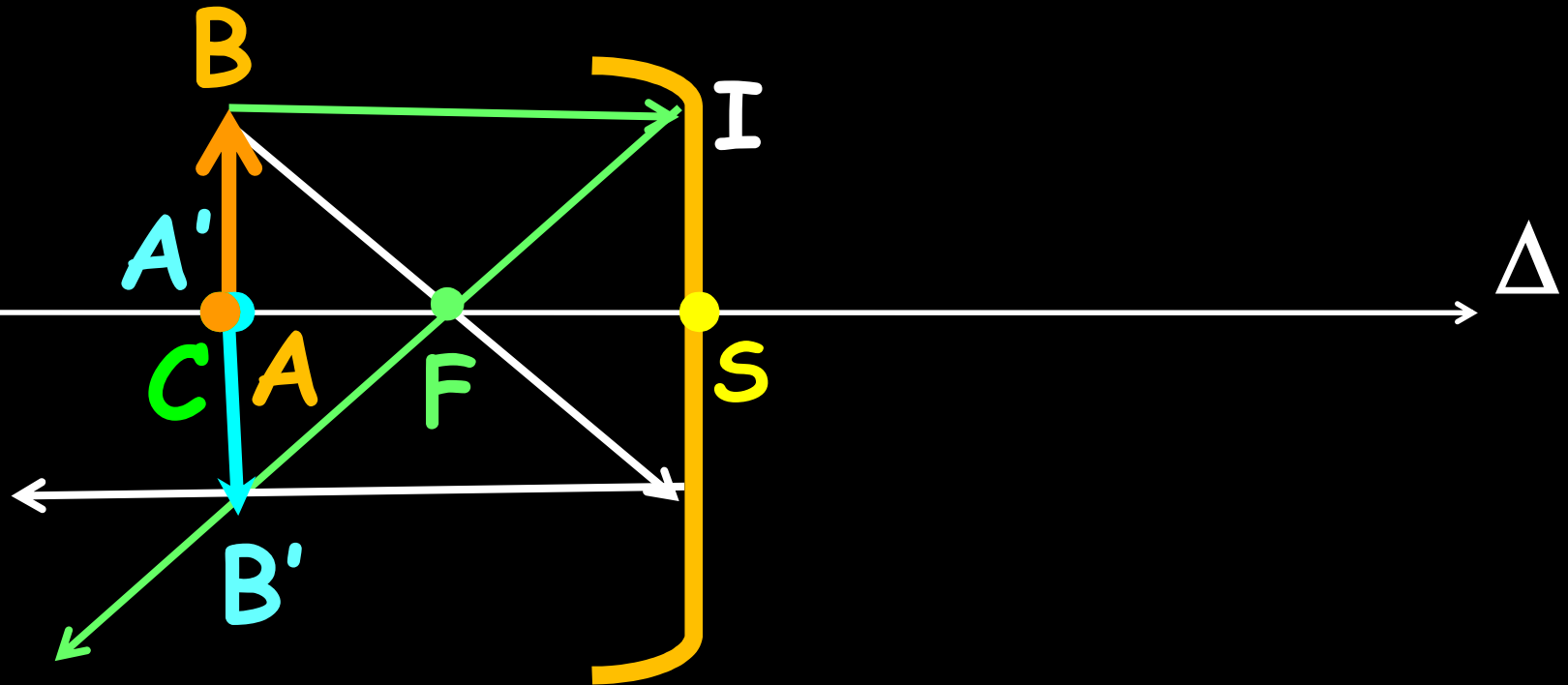
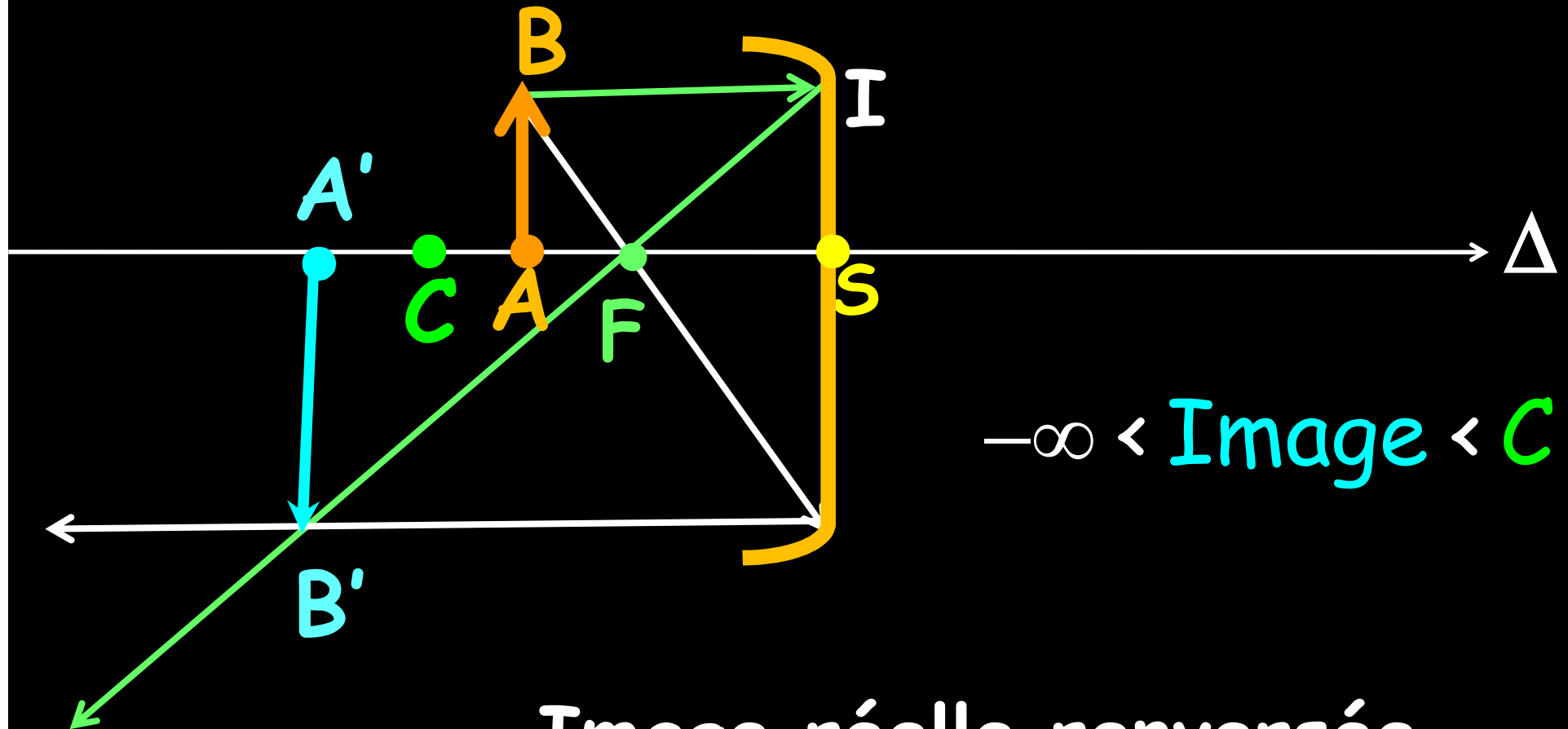


Image réelle renversée

Objet réel

$$C < \text{Objet} < F$$

Cas n°3



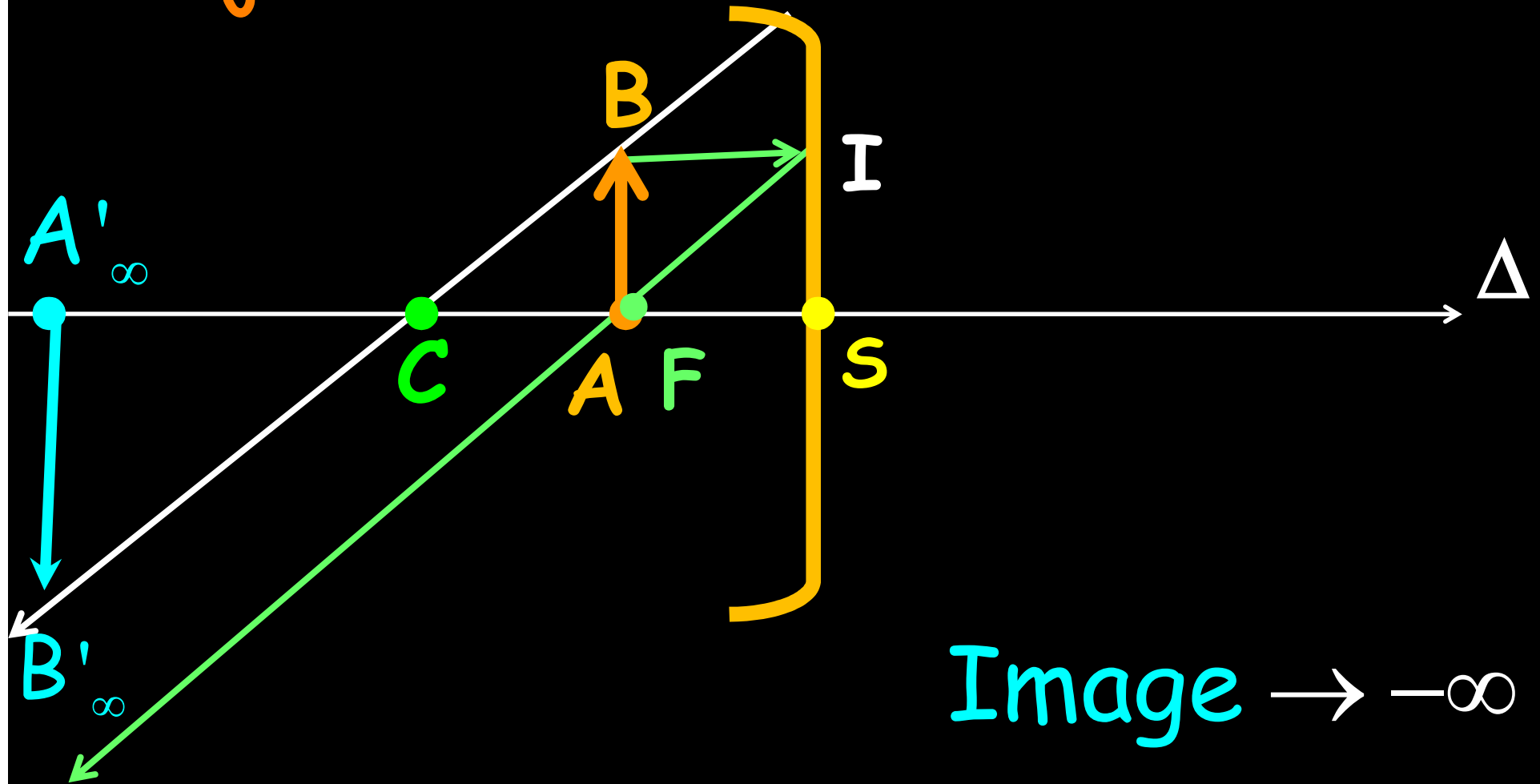
$$-\infty < \text{Image} < C$$

Image réelle renversée

Objet réel

Objet = F

Cas n°4



Objet réel

Cas n°5

$F < \text{Objet} < S$

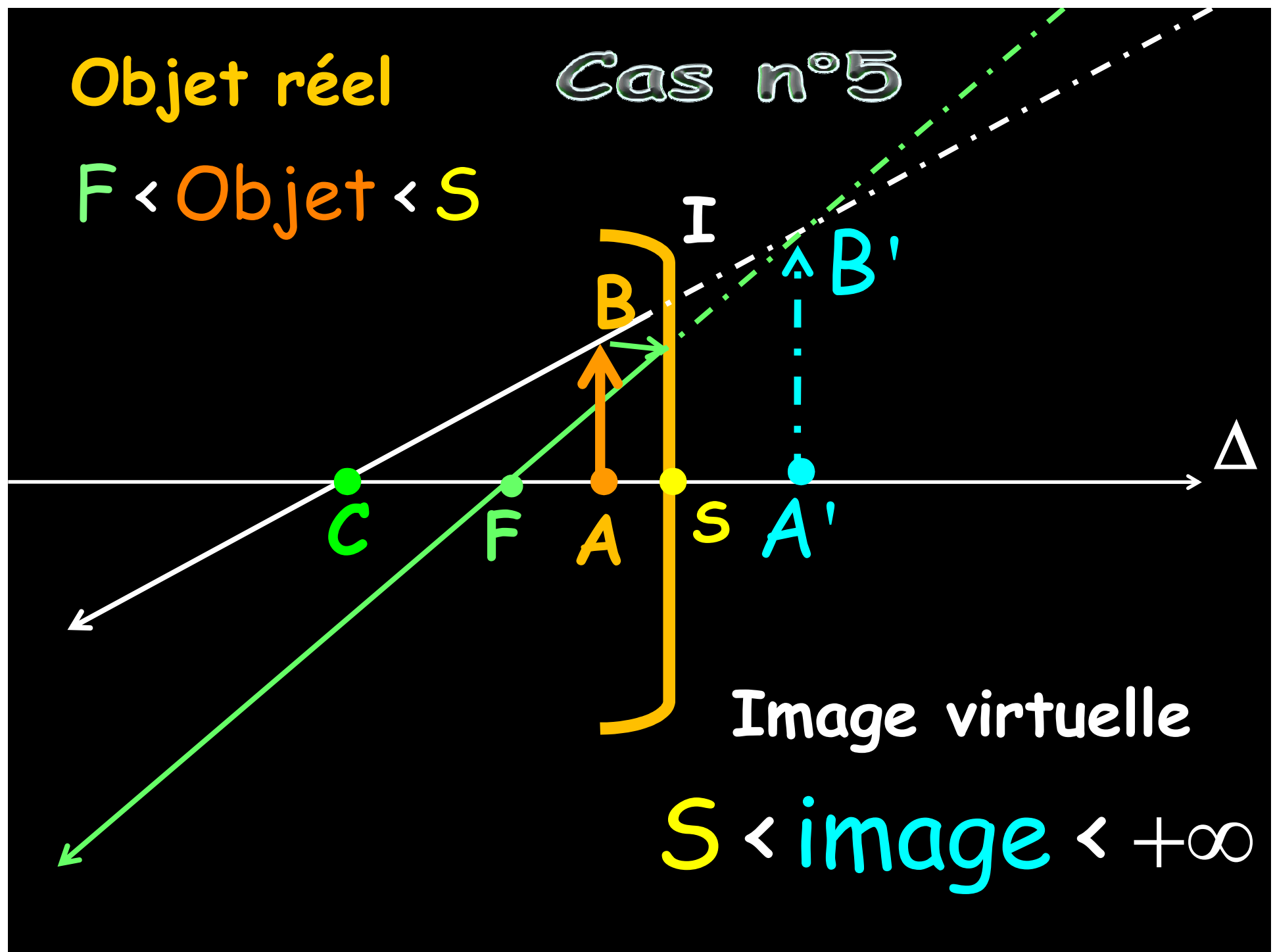


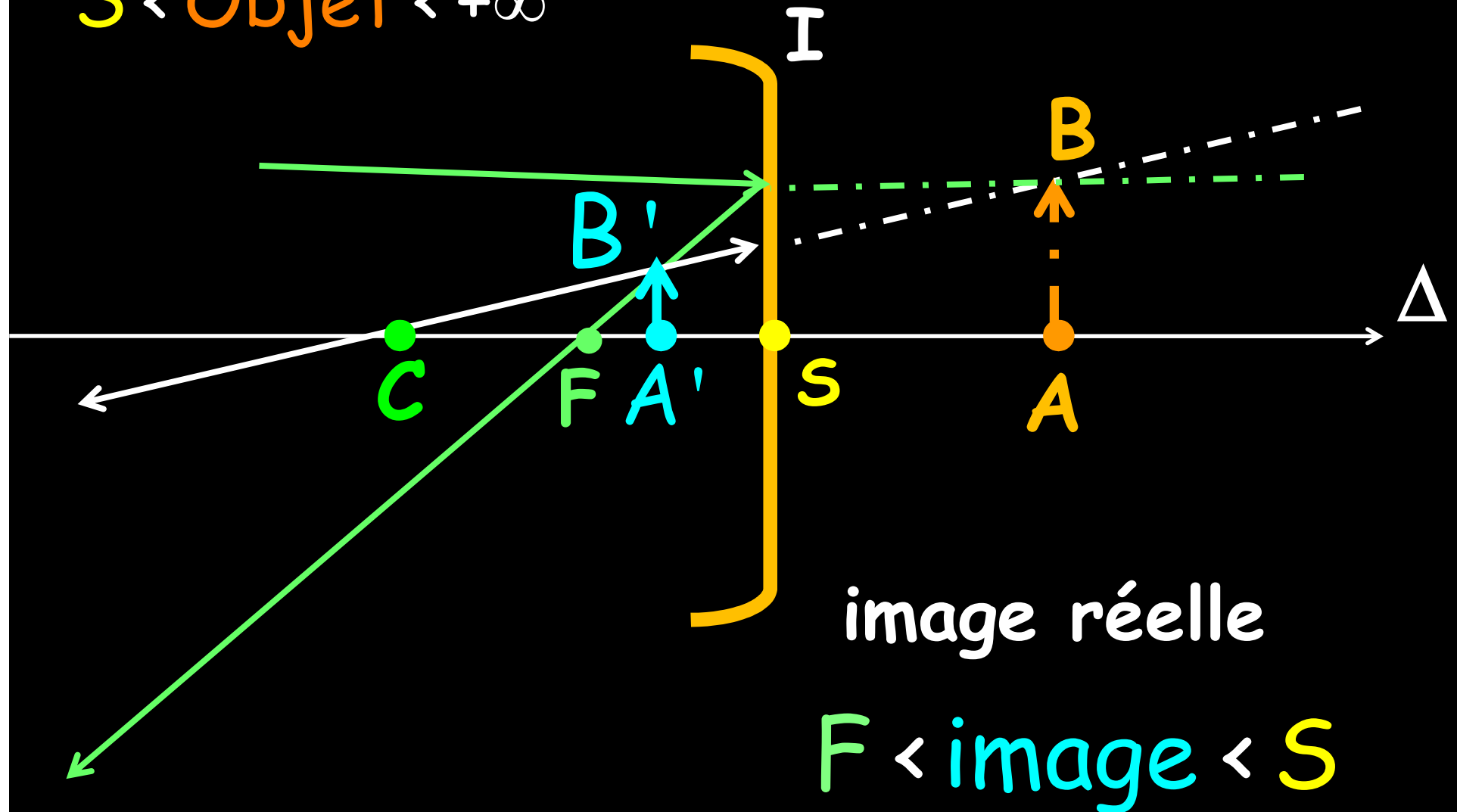
Image virtuelle

$S < \text{image} < +\infty$

objet virtuel

$S < \text{Objet} < +\infty$

Cas n°6

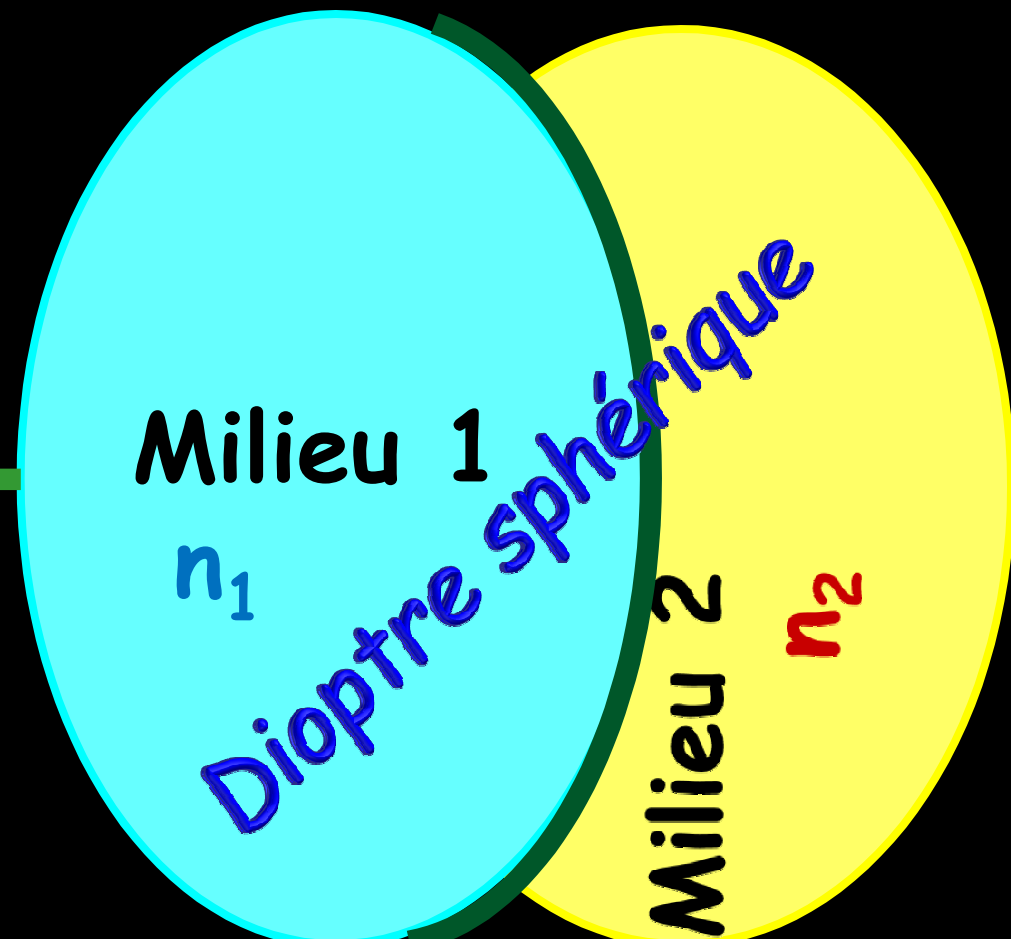


Définition : **Un dioptre sphérique** est un ensemble de deux milieux homogènes d'indices de réfraction différents n_1 et n_2 , séparés par une **surface sphérique**.

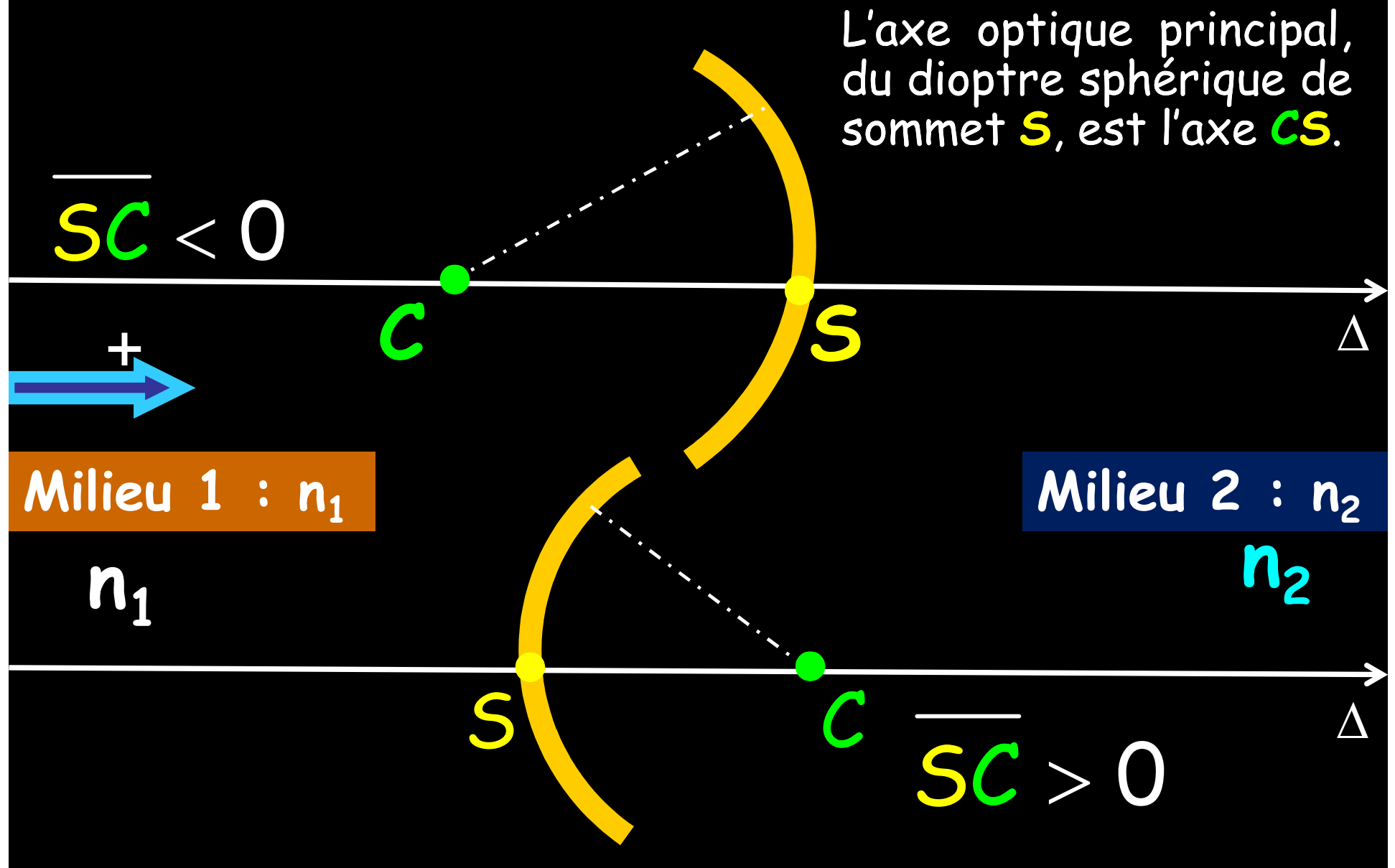
Milieu 1 d'indice
de réfraction n_1

Dioptre plan

Milieu 2 d'indice
de réfraction n_2



4 configurations possibles : $n_1 > n_2$ ou $n_1 < n_2$



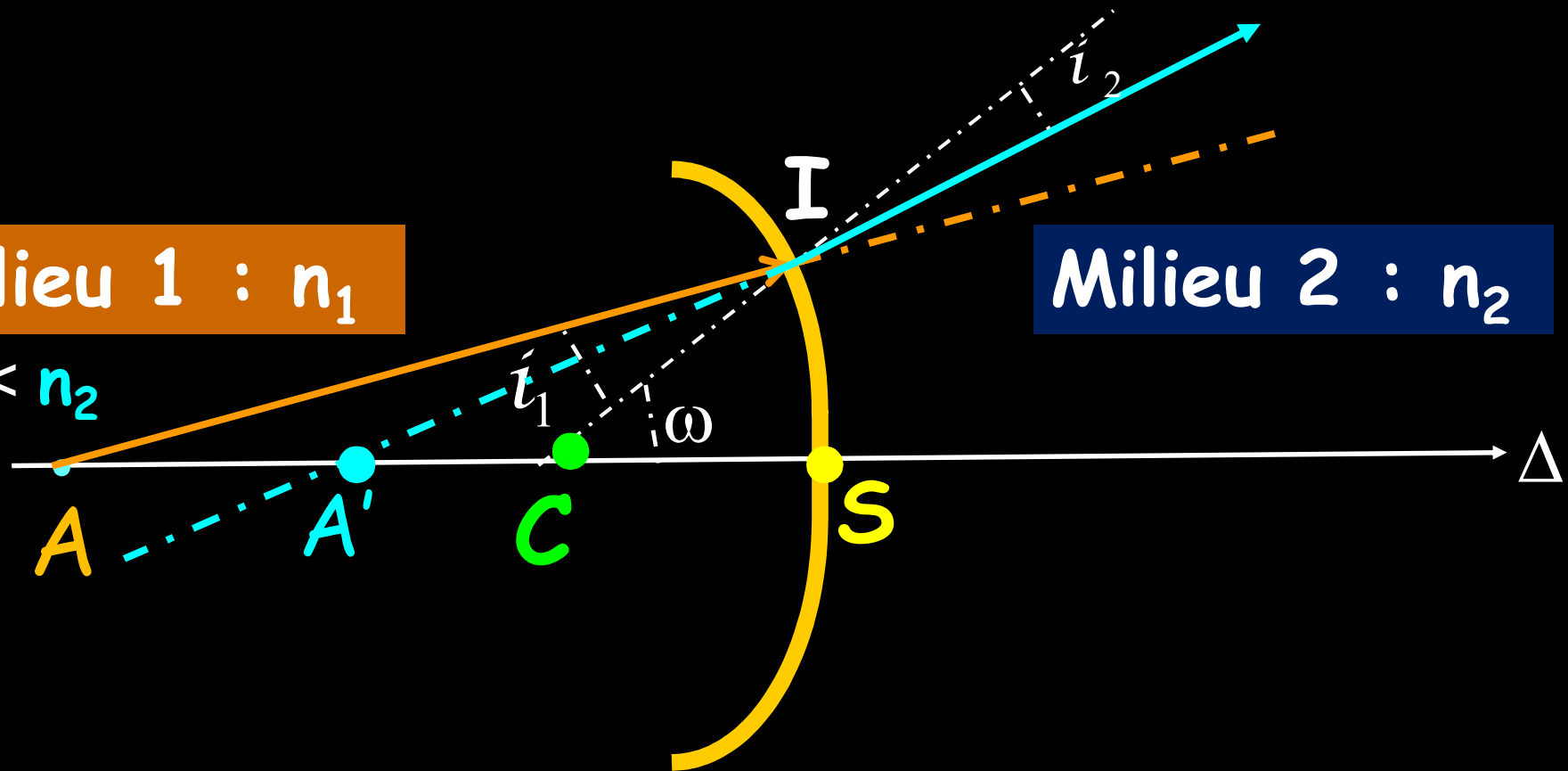
Relations de conjugaison

Établissons ces équations dans les conditions de l'approximation de Gauss. Autrement dit on ne considère qu'un pinceau lumineux dont le rayon moyen lui est normal, c'est-à-dire formé de rayons paraxiaux.

Milieu 1 : n_1

$$n_1 < n_2$$

Milieu 2 : n_2



Origine au **sommet S** :

Image **Objet** = Instrument
optique

$$\frac{n_2}{SA'} - \frac{n_1}{SA} = \frac{n_2 - n_1}{SC}$$

Relation de conjugaison d'un dioptre sphérique
(**S**, **C**, **n₁**, **n₂**). Formule de **Descartes**

Origine au **centre C**

Il peut être commode de prendre le **centre C** comme origine de l'axe Δ ; dans ce cas la formule de conjugaison d'un dioptré sphérique (**S**, **C**, **n_1** , **n_2**).

$$\frac{\underline{\underline{n_1}}}{\underline{\underline{CA'}}} - \frac{\underline{\underline{n_2}}}{\underline{\underline{CA}}} = \frac{(\underline{\underline{n_1}} - \underline{\underline{n_2}})}{\underline{\underline{CS}}}$$

Origine au **aux foyers**

Il peut être commode de prendre les **foyers** comme origine de l'axe Δ ; dans ce cas la formule de conjugaison d'un dioptre sphérique (**S**, **C**, **n₁**, **n₂**).

$$\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = \overline{SF'} \cdot \overline{SF}$$

Formule de **Newton**

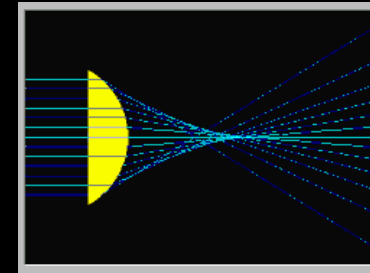
Foyers. Convergence

FOYERS, CONVERGENCE

Foyer image

Si le point objet A s'éloigne à l'infini, son conjugué est le foyer image F' du dioptré sphérique.

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$



Si $A \rightarrow \infty$, alors $A' \rightarrow F'$, $-\left(\frac{n_2}{\overline{SF'}}\right) = \frac{(n_1 - n_2)}{R}$

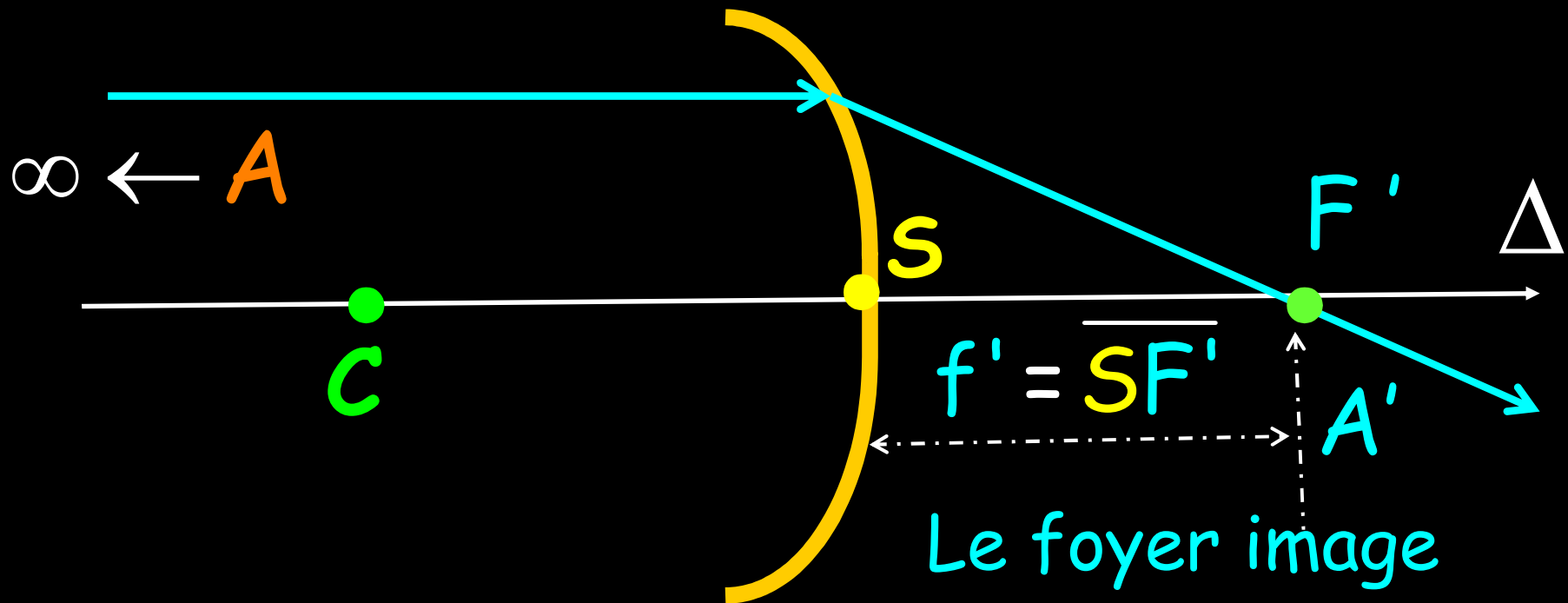
$$f' = \overline{SF'} = \frac{-R \cdot n_2}{(n_1 - n_2)}$$

La distance focale image du dioptré sphérique (S, C, n_1, n_2).

$$n_1 < n_2$$

Milieu 1 : n_1

Milieu 2 : n_2



Le point source A , situé à l'infini, est conjugué avec le foyer image F'

Foyer objet :

Quand le point objet A est situé en F , l'image A' est à l'infini. Le point F est le foyer objet. la distance focal objet est alors :

$$\frac{n_2}{SA'} - \frac{n_1}{SA} = \frac{n_2 - n_1}{SC}$$

Si $A \rightarrow F$, alors $A' \rightarrow \infty$, $\left(\frac{n_1}{SF} \right) = \frac{(n_1 - n_2)}{R}$

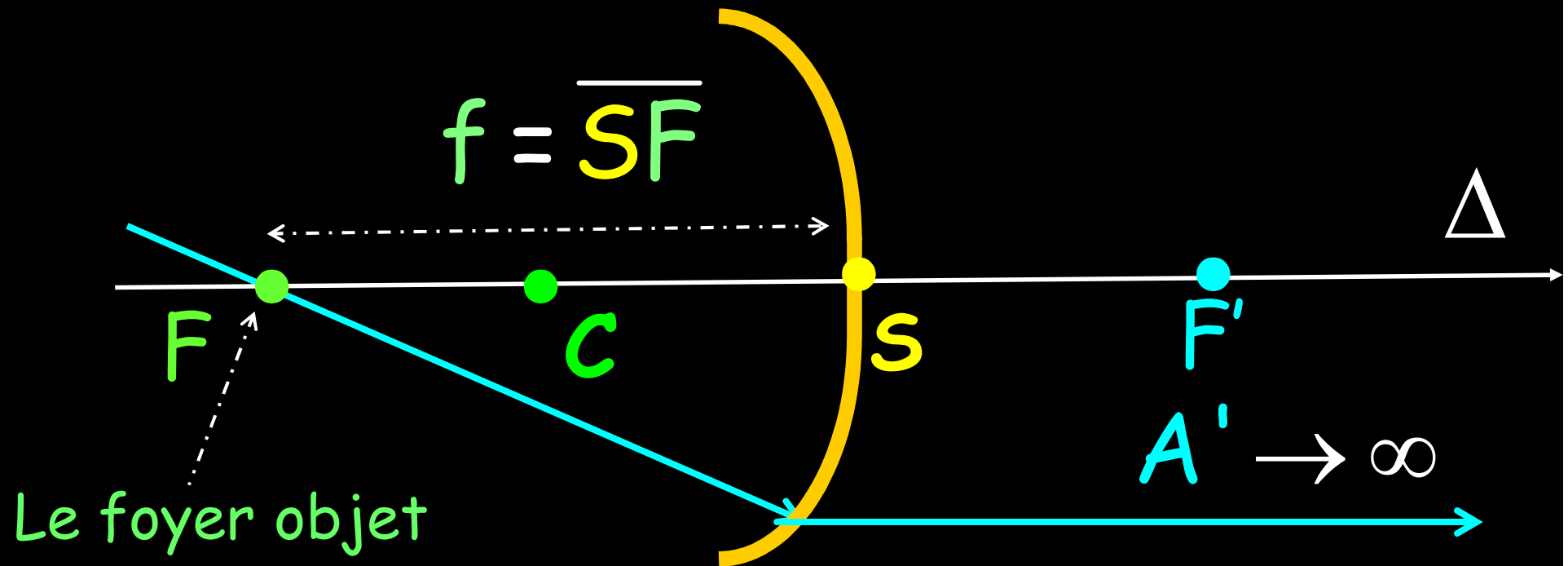
$$f = SF = \frac{R \cdot n_1}{(n_1 - n_2)}$$

La distance focale objet du dioptré sphérique (S, C, n_1, n_2).

$$n_1 < n_2$$

Milieu 1 : n_1

Milieu 2 : n_2



Le point source A , situé au foyer objet F , est conjugué avec son point image A' rejeté à l'infini.

$$f = \overline{SF} = \frac{R \cdot n_1}{(n_1 - n_2)}$$

$$f' = \overline{SF'} = \frac{-R \cdot n_2}{(n_1 - n_2)}$$

\overline{SF} et $\overline{SF'}$ sont de signes opposés. f et f' même nature, les 2 sont réels ou les 2 virtuels. Chaque foyer se situe dans un milieu. f et f' sont toujours de part et d'autre de S .

$$\frac{\overline{SF'}}{\overline{SF}} = \frac{f'}{f} = -\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Le rapport des distances focales f et f' d'un dioptré sphérique (S , C , n_1 , n_2) est égal au rapport des indices changé de signe.

$$f = \overline{SF} = \frac{R \cdot n_1}{(n_1 - n_2)} \quad f' = \overline{SF'} = \frac{-R \cdot n_2}{(n_1 - n_2)}$$

$$f + f' = R \cdot \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 - n_2} \right) = R \Rightarrow \overline{SF} + \overline{SF'} = \overline{SC}$$

Contrairement au miroir sphérique, il n'y a jamais de foyer entre S et C , pour un dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2) .

Milieu 1 : n_1

$$n_1 < n_2$$

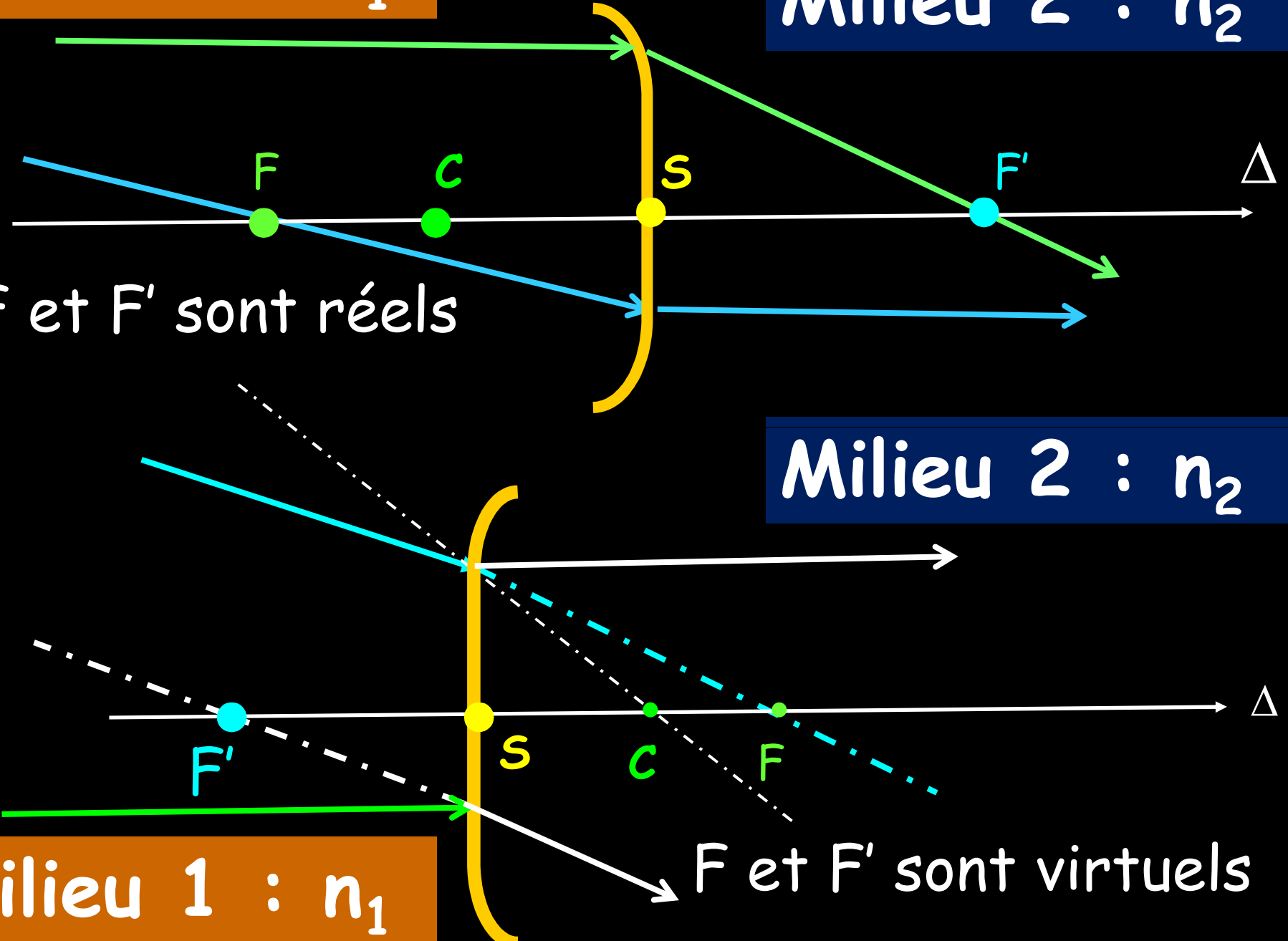
Milieu 2 : n_2

F et F' sont réels

Milieu 2 : n_2

Milieu 1 : n_1

F et F' sont virtuels



Exercice 13

$$A_0 \xrightarrow[(S_1, \infty, n_0, n_1)]{\Sigma_1(\text{plan})} A_1 \xrightarrow[(S_2, C_2, n_1, n_0)]{\Sigma_2} A_2$$

1)

$$\boxed{\frac{n_1}{S_1 A_1} - \frac{n_0}{S_1 A_0} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{n_2}{S_2 A_2} - \frac{n_1}{S_2 A_1} = \frac{n_2 - n_1}{S_2 C_2}}$$

2)

• En considérant que \mathcal{L} est une lentille mince, c'est-à-dire que son épaisseur est négligeable devant le rayon R_2 , ce qui permet d'écrire : $S_1 = S_2 = S$

Par conséquent ; la relation de conjugaison globale entre l'objet A_0 et son image finale A_2 s'exprime comme suit :

$$\boxed{\frac{n_2}{S A_2} - \frac{n_0}{S A_0} = \frac{n_2 - n_1}{S C_2}}$$

3a) En supposant que $n_2 < n_1$:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_0 \rightarrow -\infty \Rightarrow A_2 \rightarrow F' \Rightarrow \boxed{\overline{SF'} = \frac{n_2 \cdot \overline{SC_2}}{n_2 - n_1} < 0} \\ A_2 \rightarrow +\infty \Rightarrow A_0 \rightarrow F \Rightarrow \boxed{\overline{SF} = -\frac{n_0 \cdot \overline{SC_2}}{n_2 - n_1} > 0} \end{array} \right.$$

$n=n_1 = 1,5$; $R_2 = 10$ cm et $n_0 = n_2 = 1$

$$\boxed{\overline{SF'} = \frac{1.10}{1-1,5} = -20\text{cm} \quad \overline{SF} = -\frac{1.10}{1-1,5} = +20\text{cm}}$$

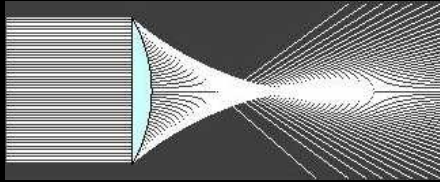
3b) Les deux foyers sont alors virtuels, il s'agit bien d'une lentille divergente.

3c)

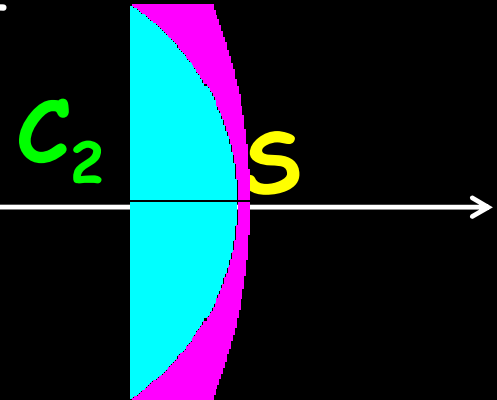
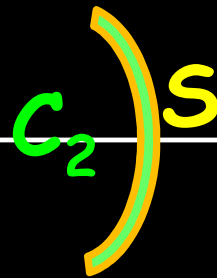
$$\boxed{\frac{\overline{SF'}}{\overline{SF}} = \frac{f'}{f} = \frac{\frac{n_2 \cdot \overline{SC_2}}{n_2 - n_1}}{-\frac{n_0 \cdot \overline{SC_2}}{n_2 - n_1}} = -\frac{n_2}{n_0}}$$

$$\frac{n_2}{\overline{SA_2}} - \frac{n_0}{\overline{SA_0}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC_2}}$$

4) $\Rightarrow \overline{V} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC_2}} = \frac{1-n}{\overline{SC_2}} = \frac{1-n}{R} = \frac{1-1,5}{10.10^{-2}} = -5\delta$

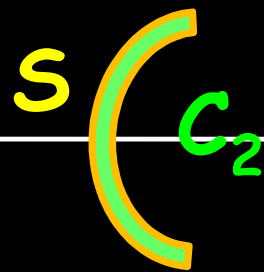


Dioptré convergent

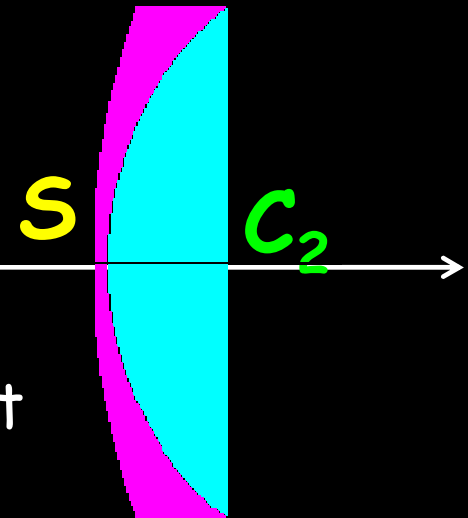


$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1-n}{\overline{SC_2}} = \frac{1-n}{R} = \frac{1}{1\text{m}} = 1\delta \Rightarrow \boxed{\overline{SC_2} = R = \frac{1-n}{V} = \frac{1-1,5}{1} = -50\text{cm}}$$

Fin de l'exercice 12



Dioptré divergent



$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1-n}{\overline{SC_2}} = \frac{1-n}{R} = -5\delta \Rightarrow \boxed{\overline{SC_2} = R = \frac{1-n}{V} = \frac{1-1,5}{-5} = +10\text{cm}}$$

vergence

$$f = \overline{SF} = \frac{R \cdot n_1}{(n_1 - n_2)}$$

$$f' = \overline{SF'} = \frac{-R \cdot n_2}{(n_1 - n_2)}$$

$$V = \frac{n_2}{\overline{SF'}} = - \frac{n_1}{\overline{SF}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

$$V = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}} > 0 \quad \text{alors} \quad V : \text{convergence}$$

$$V = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}} < 0 \quad \text{alors} \quad V : \text{divergence}$$

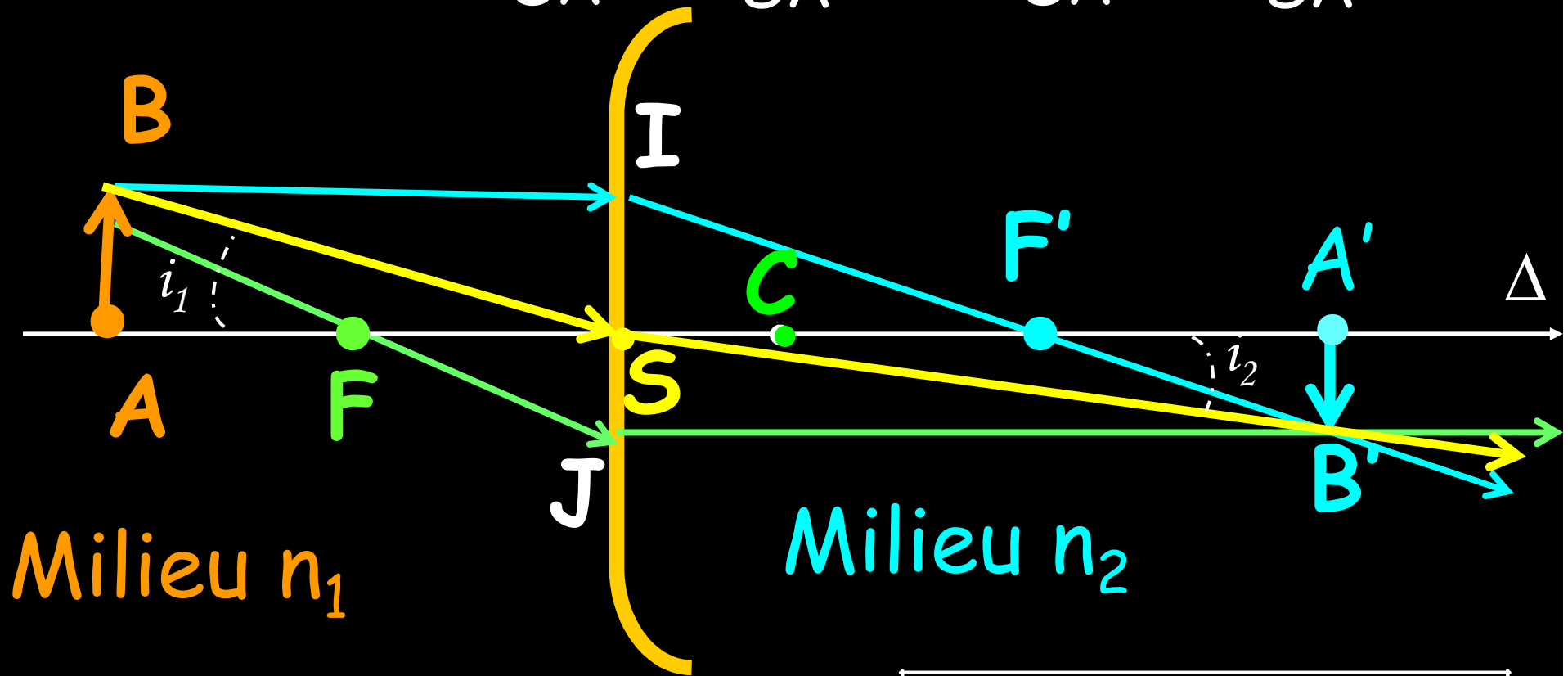
❖ Un dioptre sphérique est convergent si les deux foyers F et F' sont réels $\overline{SF'} > 0$ et $V > 0$

❖ Le centre C d'un dioptre sphérique convergent est situé dans le milieu le plus réfringent (indice de réfraction le plus grand).

❖ Un dioptre sphérique est divergent si les deux foyers F et F' sont virtuels $\overline{SF'} < 0$ et $V < 0$

❖ le centre C d'un dioptre sphérique divergent est situé dans le milieu moins réfringent (indice de réfraction le plus grand).

$$n_1 \cdot i_1 = n_2 \cdot i_2, \quad i_1 = \frac{AB}{SA}, \quad i_2 = \frac{A'B'}{SA'}, \quad n_1 \cdot \frac{AB}{SA} = n_2 \cdot \frac{A'B'}{SA'}$$



Milieu n_1

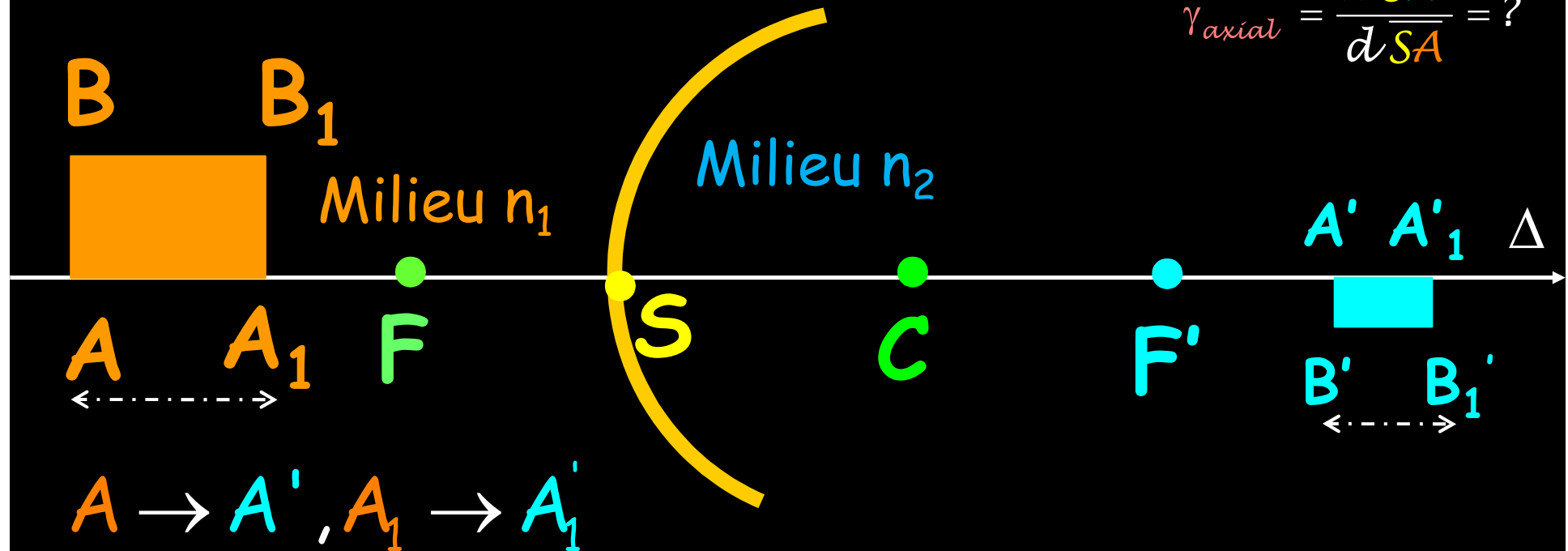
Milieu n_2

Le grandissement transversal d'un
dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2)

$$\gamma_t = \frac{A'B'}{AB} = \frac{n_1}{n_2} \frac{SA'}{SA}$$

Grandissement **axial** ou **longitudinal**, pour un objet présentant une structure allongée sur l'axe optique Δ .

$$\gamma_{axial} = \frac{d\overline{SA'}}{d\overline{SA}} = ?$$



$$\gamma_a = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\overline{SA'}^2}{\overline{SA}^2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \underbrace{\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} \right)}_{\gamma_+}^2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot \gamma_+^2$$

Construction géométrique

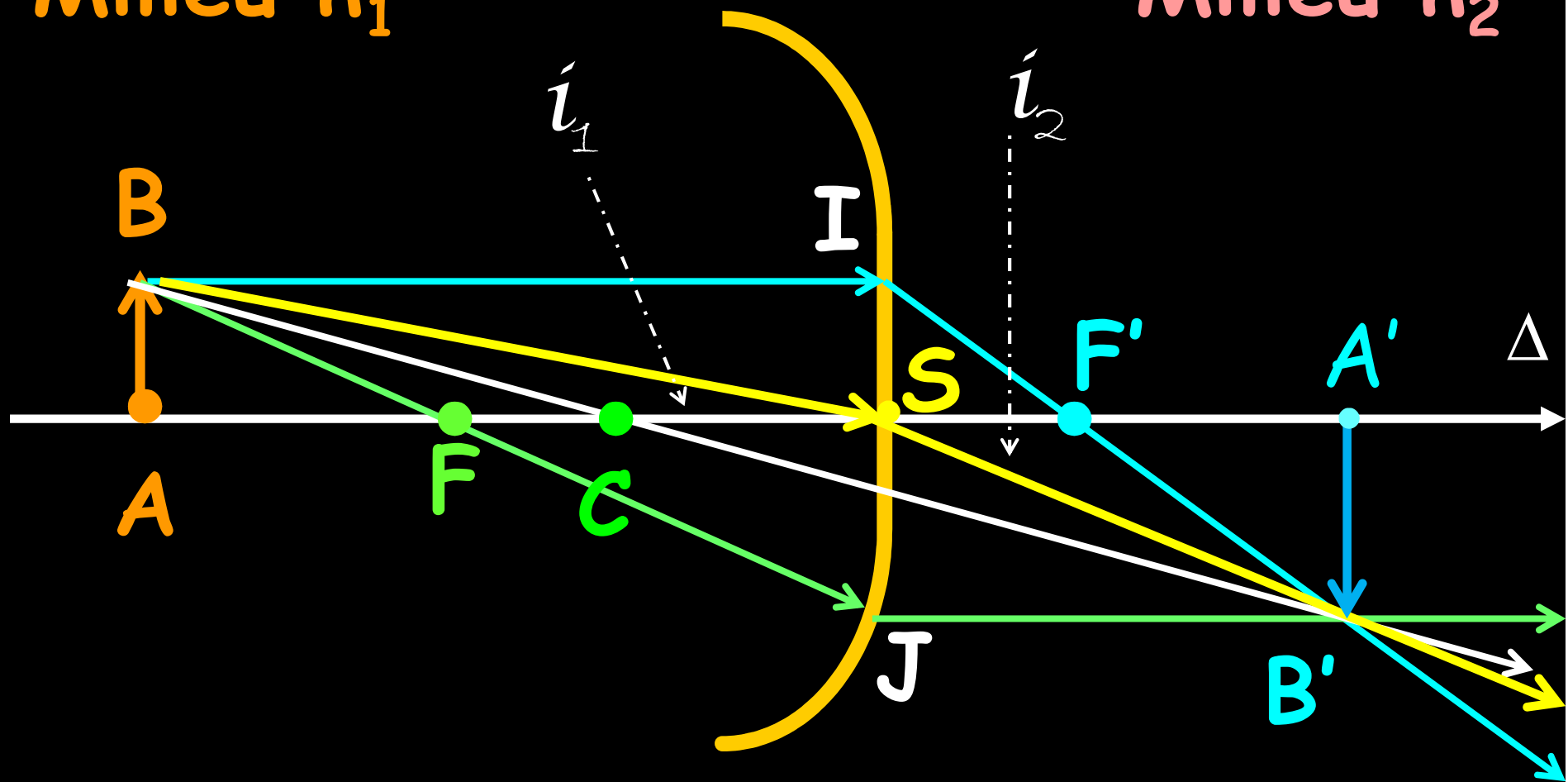
utilisation les rayons particuliers suivants :

- tout rayon passant par le centre **C** du dioptre n'est pas dévié
- tout rayon passant par le foyer objet **F** ressort // à l'axe Δ
- tout rayon // à l'axe optique Δ passe par le foyer image **F'**
- Tout rayon passant par le sommet **S** se trouve dévié en respectant la loi de Snell-Descartes.

Il est à noter que seulement **2 rayons** parmi ces **4** sont suffisants pour construire une image

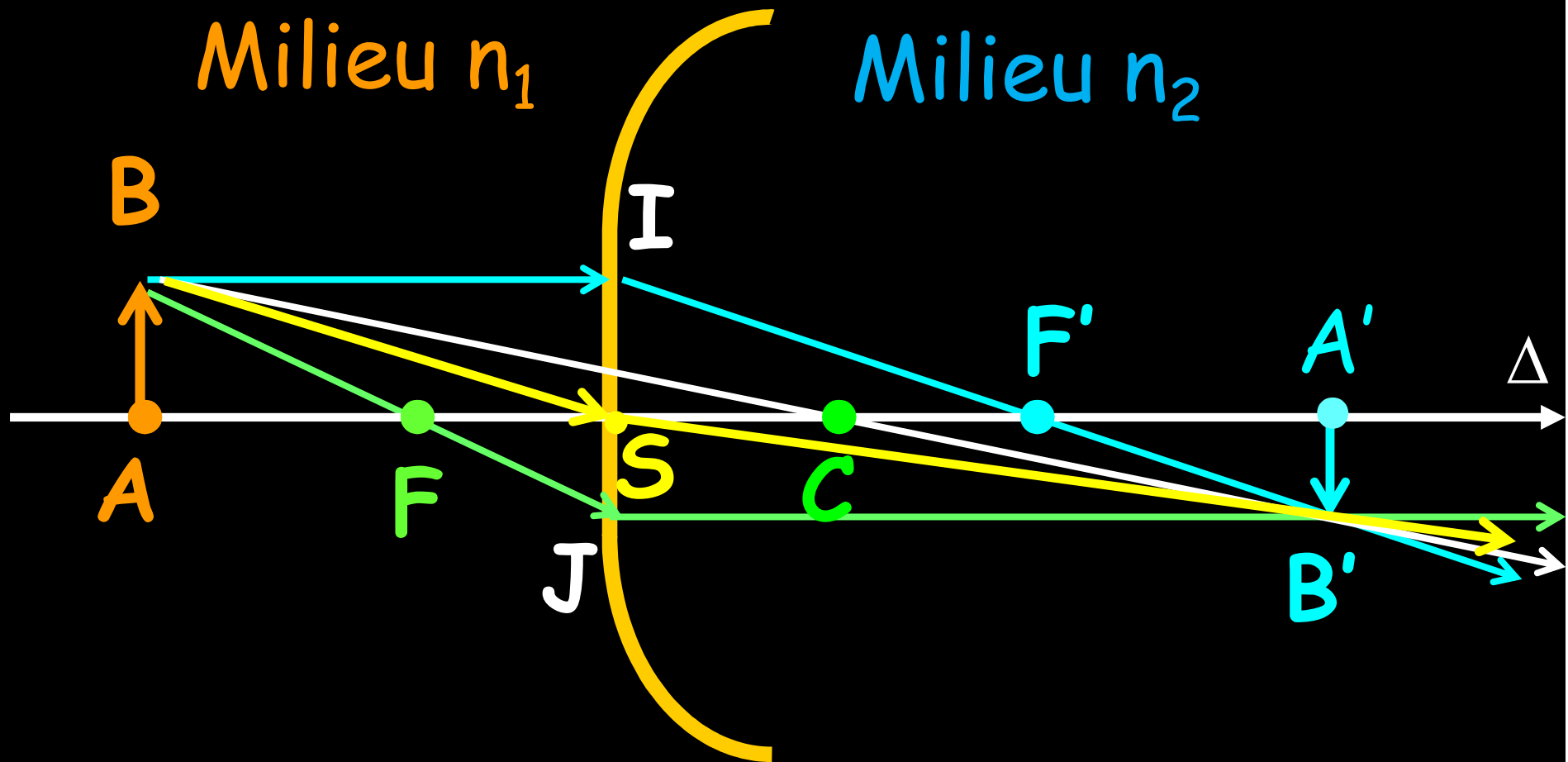
Milieu n_1

Milieu n_2



Milieu n_1

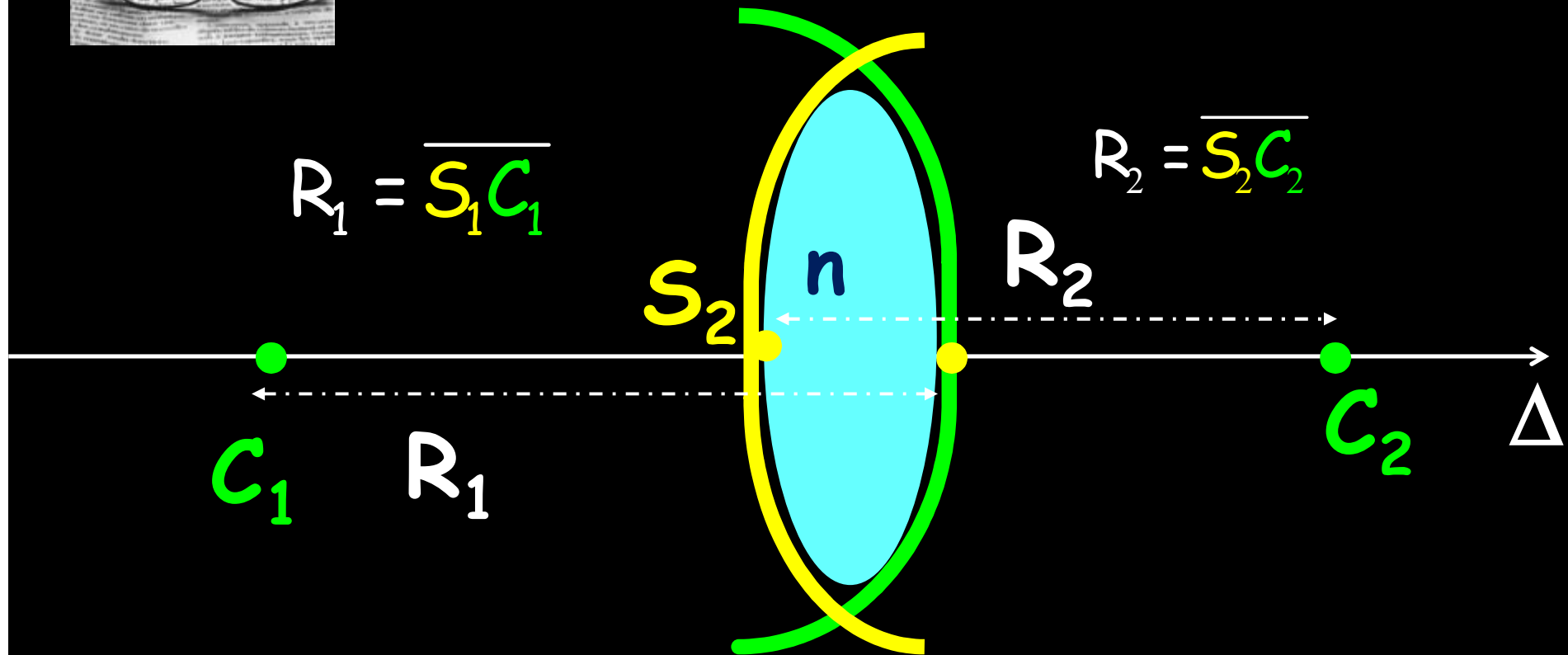
Milieu n_2



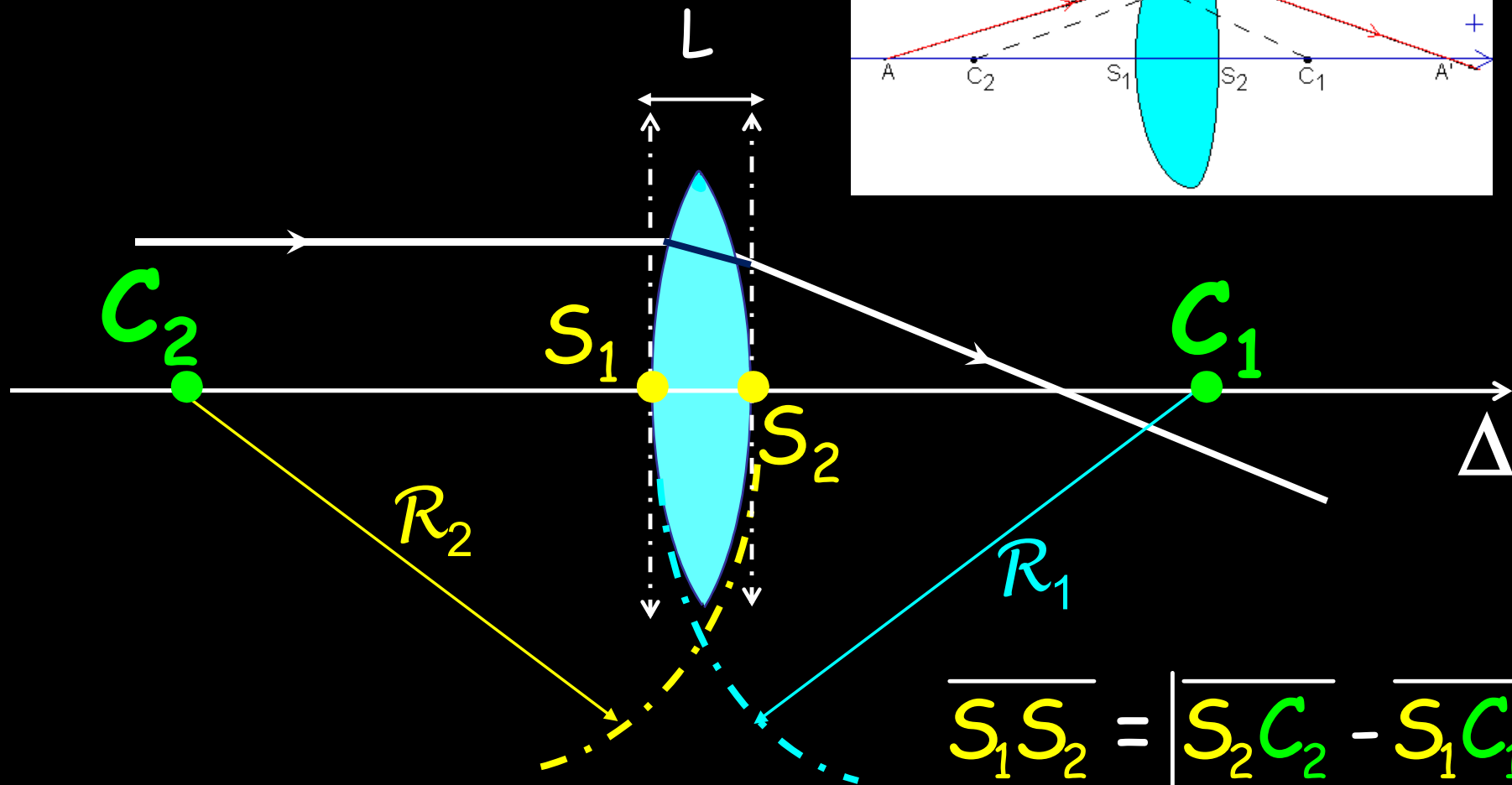
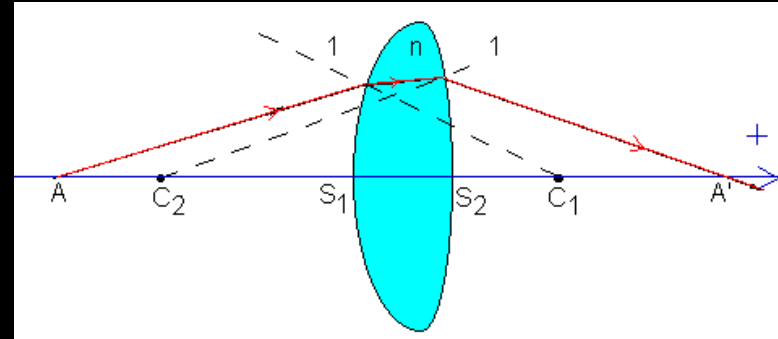
Lentilles



Définition : Une lentille est un milieu transparent limité par deux calottes sphériques, ou par une calotte sphérique et une plane.



La lentille idéale : surfaces sphériques

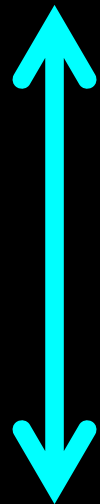


$$\overline{S_1 S_2} = \left| \overline{S_2 C_2} - \overline{S_1 C_1} \right|$$

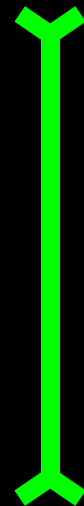
lentille mince si : $\overline{S_1 S_2} \ll \overline{S_1 C_1}$ $\overline{S_1 S_2} \ll \overline{S_2 C_2}$

Une lentille est dite mince quand son épaisseur, mesurée sur l'axe principal, est très petite comparée aux rayons de courbure.

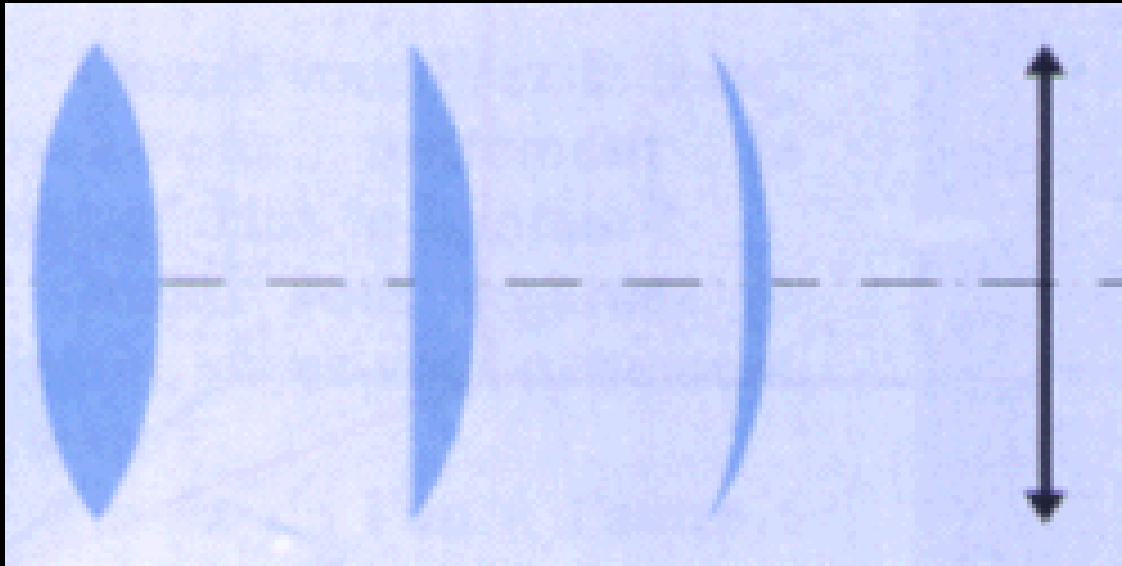
Par suite, nous représenterons schématiquement les lentilles à bords minces et à bords épais, respectivement **Convergente** et **Divergente**.



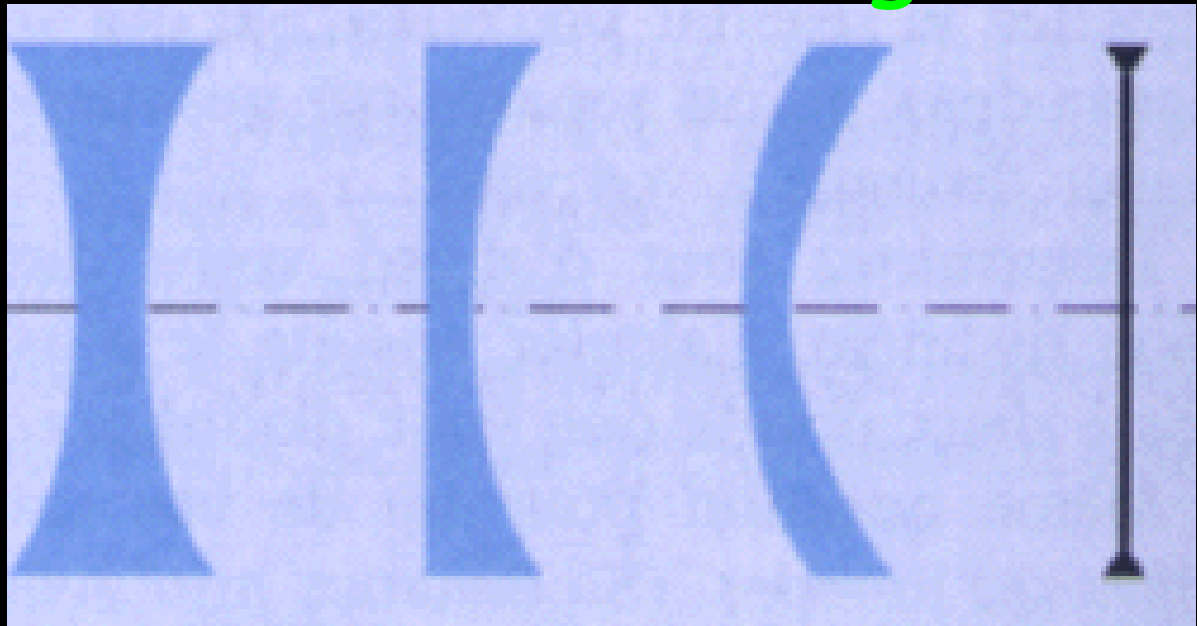
symbole



convergente



divergente

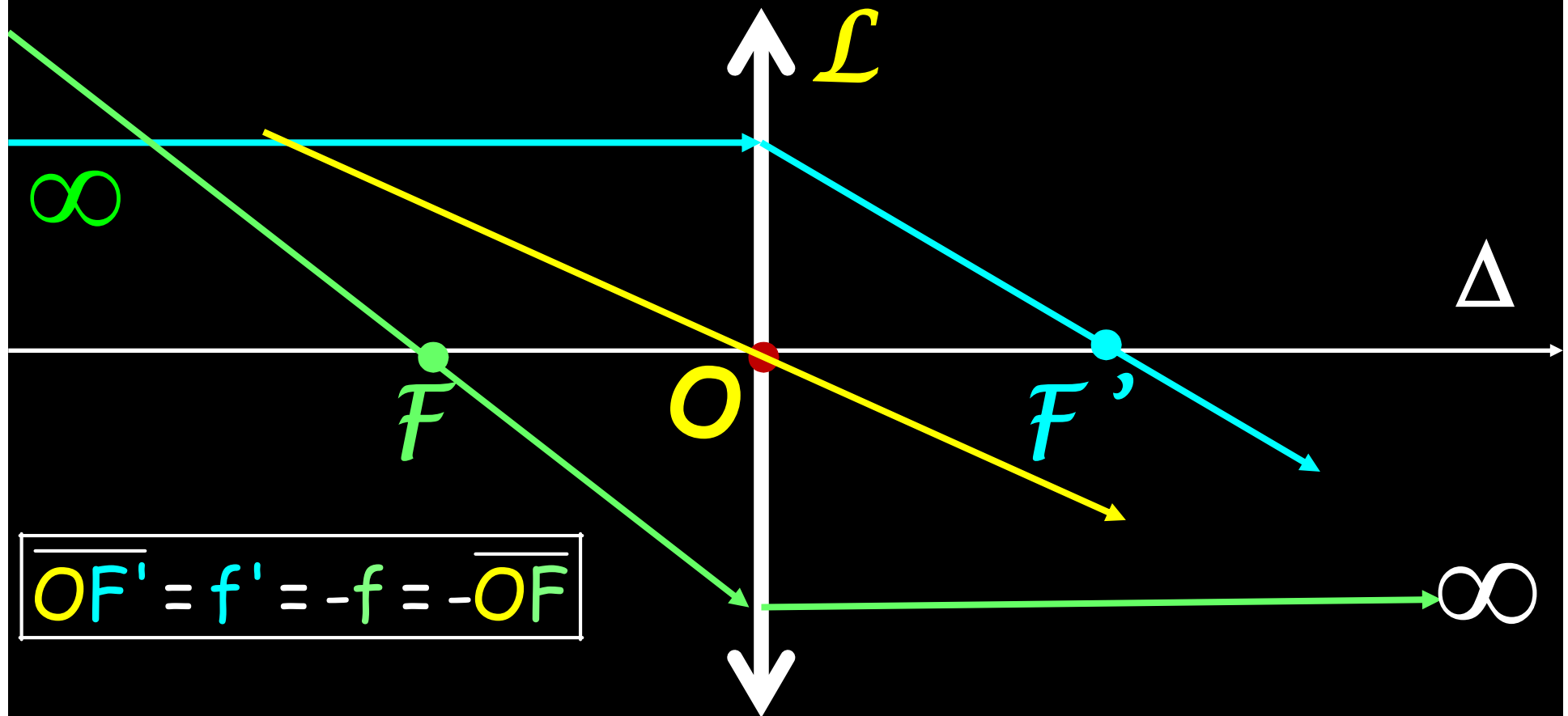




Lentille convergente :

- Plans focaux : Toute lentille mince convergente, quelle que soit sa forme, possède deux foyers principaux réels, symétriques par rapport au centre optique O.
- Le premier est le **foyer principal objet** et le second est le **foyer principal image**.

L'infini ∞ et le foyer principal image F' sont conjugués par la lentille \mathcal{L}

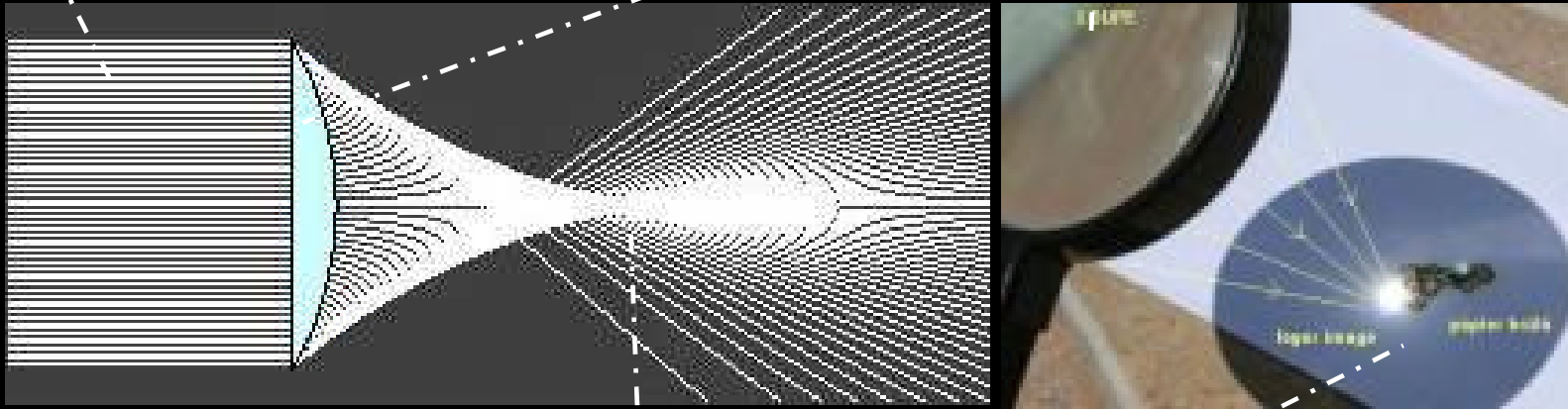


$$\overline{OF'} = f' = -f = -\overline{OF}$$

le foyer principal objet F et L'infini ∞ sont conjugués par la lentille \mathcal{L}

Lumière parallèle

Lentille convergente



Foyer principal image

On appelle distance focale d'une lentille mince, la mesure algébrique :

$$\overline{OF'} = f' = -f = -\overline{OF}$$

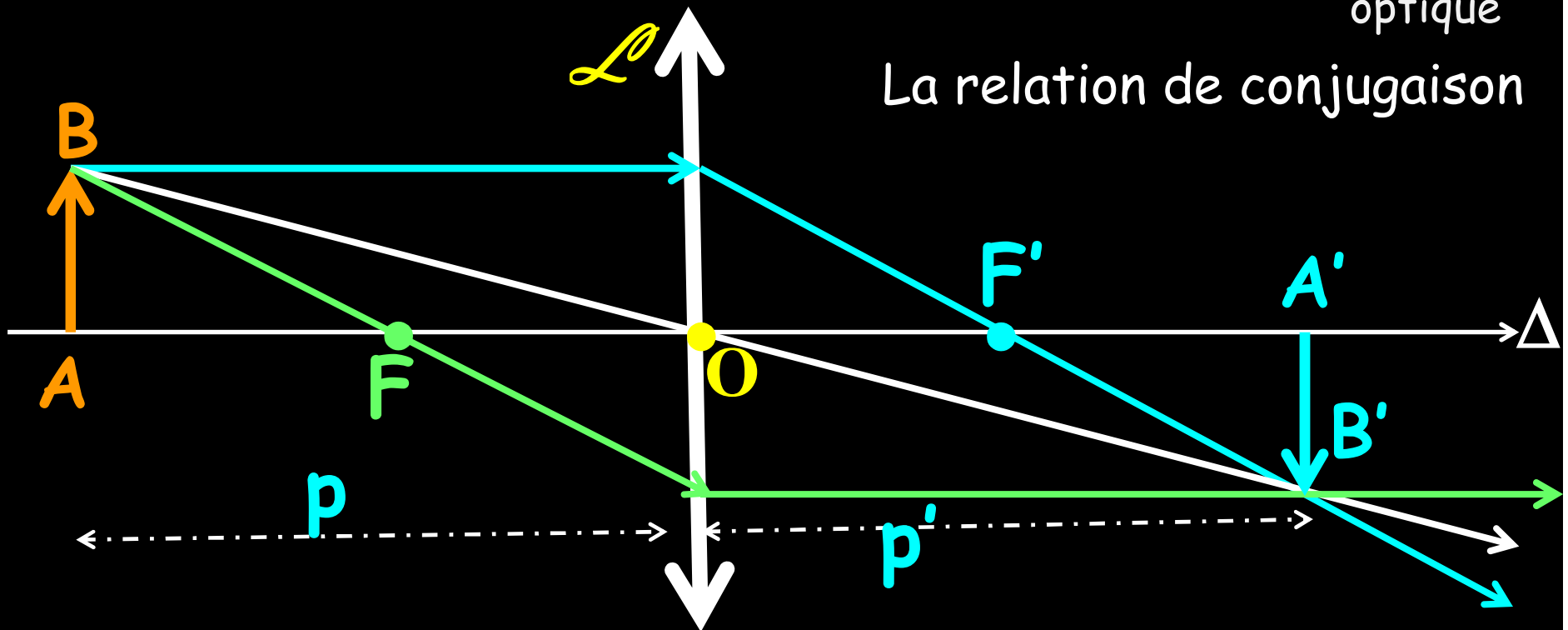
$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \Rightarrow \gamma_t = \frac{p'}{p}$$

grandissement linéaire

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

Image Objet = Instrument
optique

La relation de conjugaison



La relation de conjugaison du point source **A** et son image **A'**, fournie par une lentille convergente \mathcal{L} de distance focale f' .

vergence v

$$v = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f} \quad (\text{dioptries})$$

Lentille divergente :



Plans focaux : Toute lentille divergente, quelle que soit sa forme, possède deux foyers principaux virtuels, symétriques par rapport au **centre optique O**.

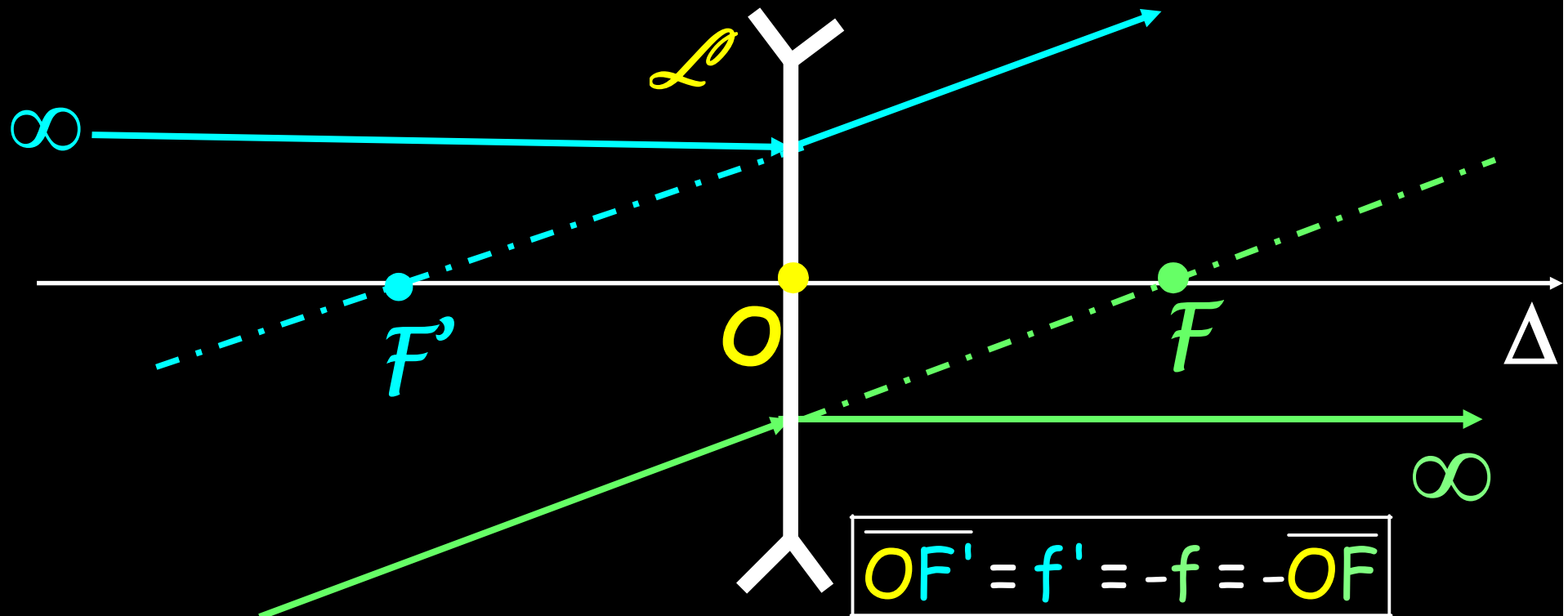
Le premier est le **foyer principal objet** et le second est **le foyer principal image**. Ce dernier est l'image d'un point situé à l'infini.

L'infini ∞ et le foyer principal **image F'** sont conjugués par la lentille divergente \mathcal{L}

le foyer principal **objet F** et L'infini ∞ sont conjugués par la lentille \mathcal{L}

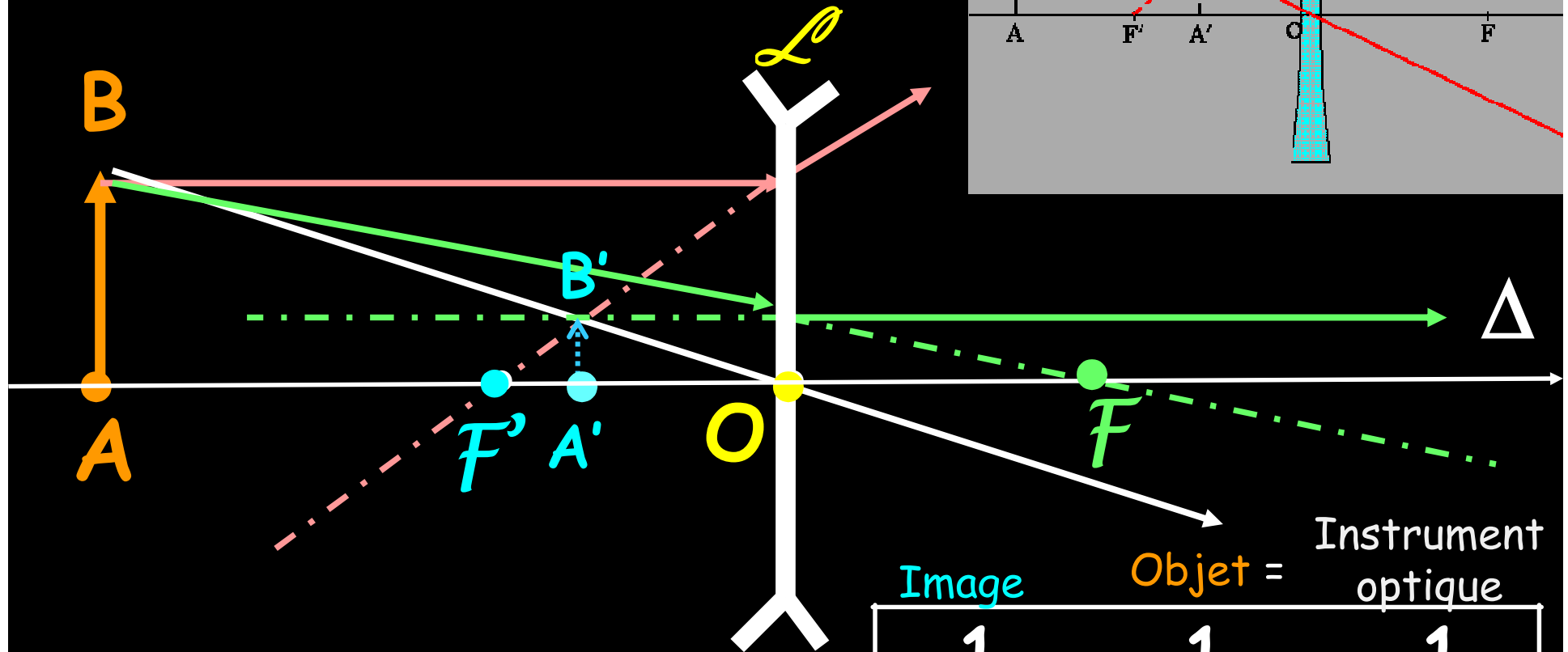
Autrement dit, tout rayon parallèle à l'axe principal optique Δ de la lentille émerge de celle-ci comme s'il venait du **foyer principal image F'** .

Et tout rayon incident qui passe par le **foyer principal objet F** de la lentille, émerge de celle-ci parallèle à son axe principal optique Δ .



AB : objet réel,

$A'B'$: image virtuelle, droite affaiblie



La vergence,
exprimée dioptrie,
d'une lentille mince
est l'inverse de sa
distance focale f' .

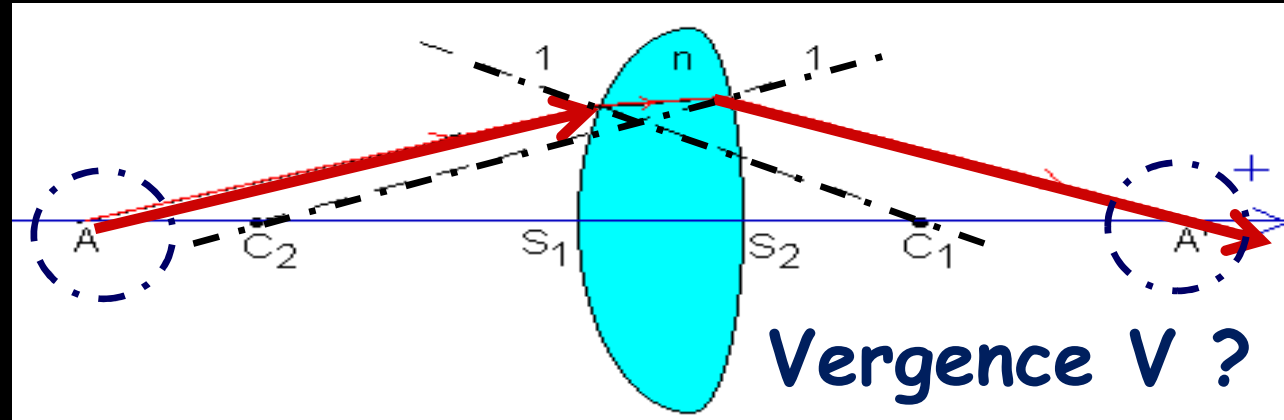
$$V_{(\delta)} = \frac{1}{f'_{(m)}}$$

Image Objet = Instrument
optique

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$$

La relation de conjugaison

Une lentille épaisse est une succession de deux dioptries sphériques (S_1, C_1, n_0, n) et (S_2, C_2, n_0, n) . A et A' sont conjugués



$A \xrightarrow[\text{Dioptrie Sphérique}]{(S_1, C_1, 1, n)} A' \xrightarrow[\text{Dioptrie Sphérique}]{(S_2, C_2, n, 1)} A''$

Une lentille mince

$$S_1 = S_2 = S$$

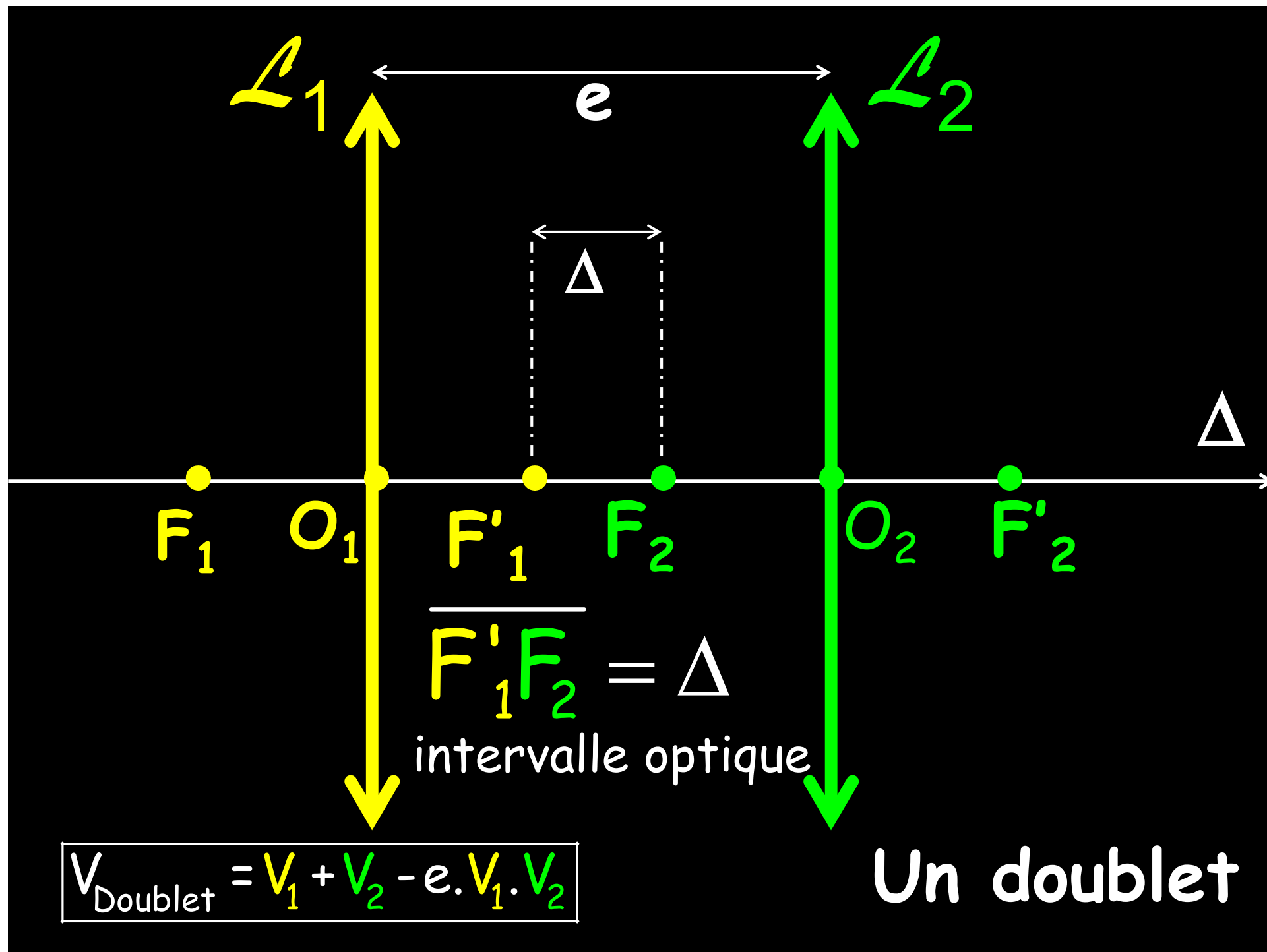
$$\frac{1}{SA''} - \frac{1}{SA} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{SC_1} - \frac{1}{SC_2} \right)$$

vergence

$$V = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Association de Lentilles

Association de lentilles



Vergence d'un doublet: Formule de Gullstrand

$$V_{\text{Doublet}} = V_1 + V_2 - e \cdot V_1 \cdot V_2$$

$$\frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} - \frac{e}{f'_1 \cdot f'_2} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \boxed{f' = \frac{f'_1 \cdot f'_2}{f'_1 + f'_2 - e}}$$

La distance focale d'une lentille équivalente \mathcal{L}

Dans le cas où les 2 lentilles sont accolées, $e=0$, alors la vergence :

$$V = V_1 + V_2$$

Distance focale :

$$\frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \boxed{f' = \frac{f'_1 \cdot f'_2}{f'_1 + f'_2}}$$

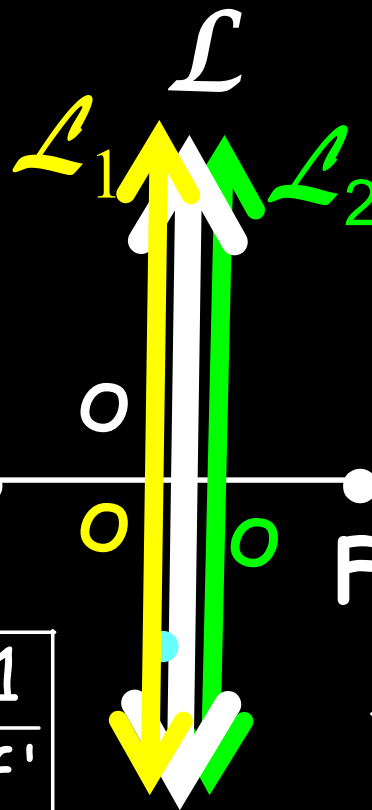
Théorème des vergences

Un système de lentilles minces accollées est équivalent à une lentille mince unique de même centre optique O et de vergence égale à la somme algébrique des vergences des lentilles accolées.

$$\frac{-1}{p} + \frac{1}{p_1} = \frac{1}{f'_1}$$

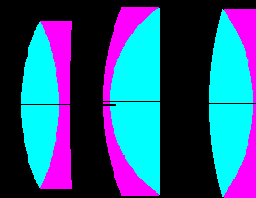
$$\frac{-1}{p_1} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'_2}$$

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \underbrace{\frac{1}{f'_1}}_{V_1} + \underbrace{\frac{1}{f'_2}}_{V_2} = \underbrace{\frac{1}{f'}}_V$$



$$V_1 + V_2 = V$$

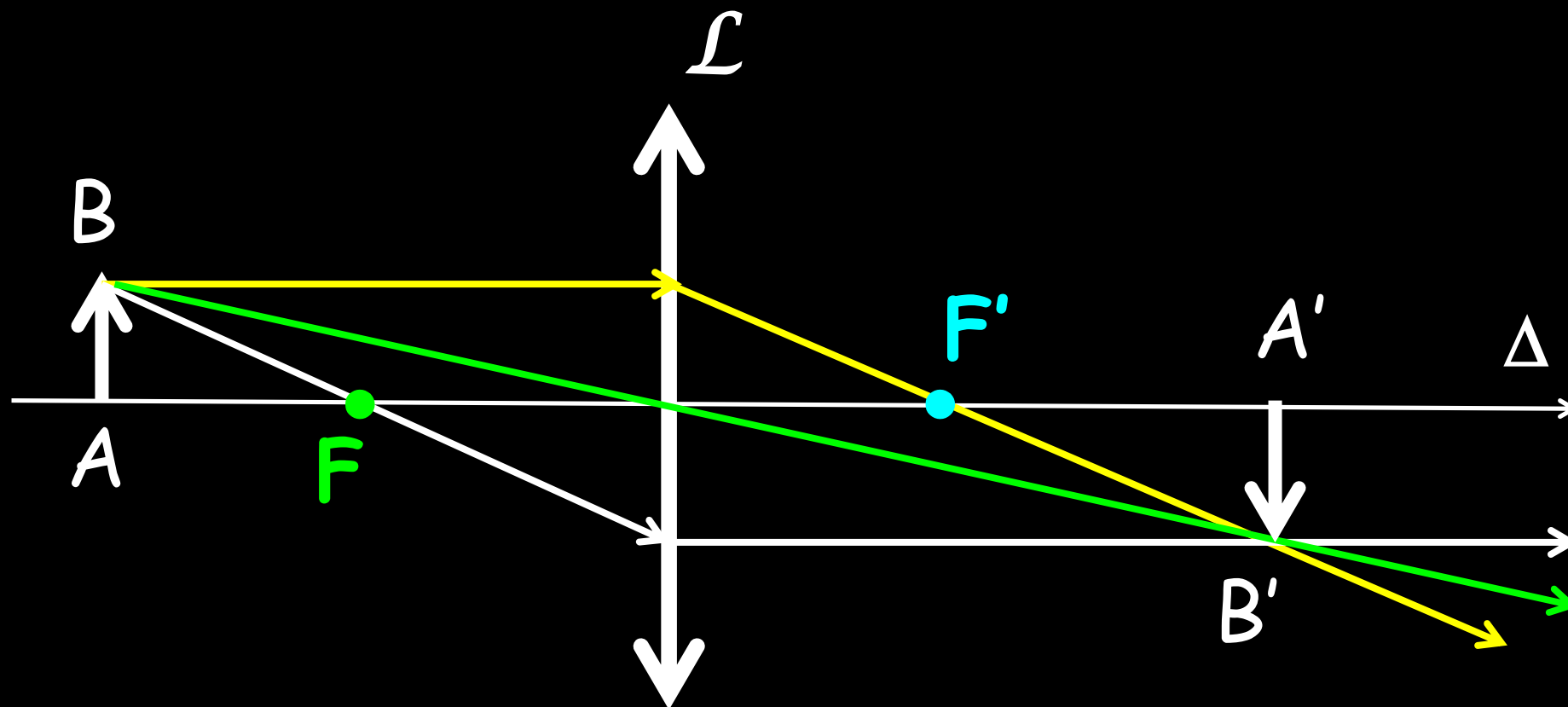
Exemples :



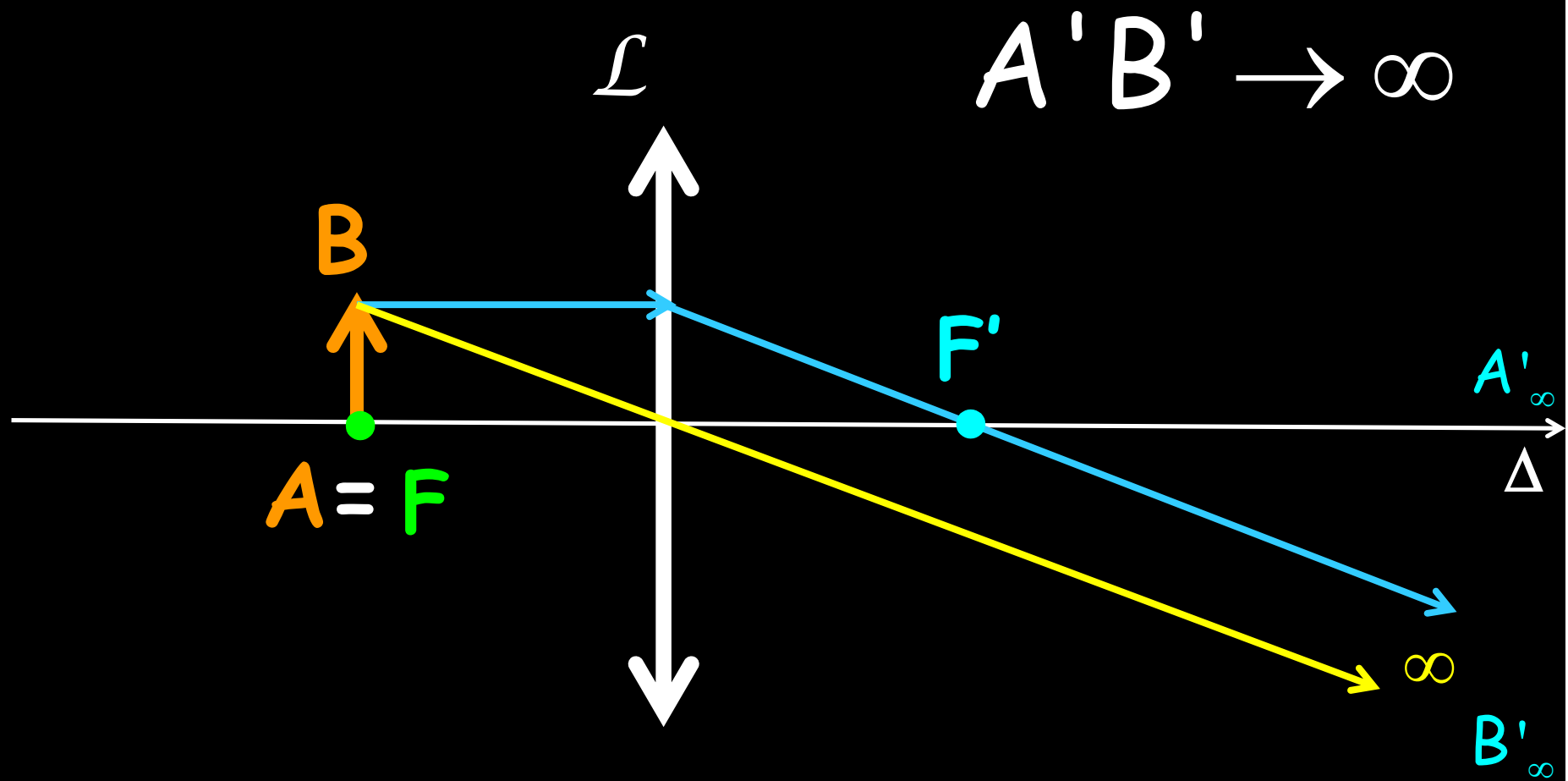
$$\frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{f'} \Rightarrow$$

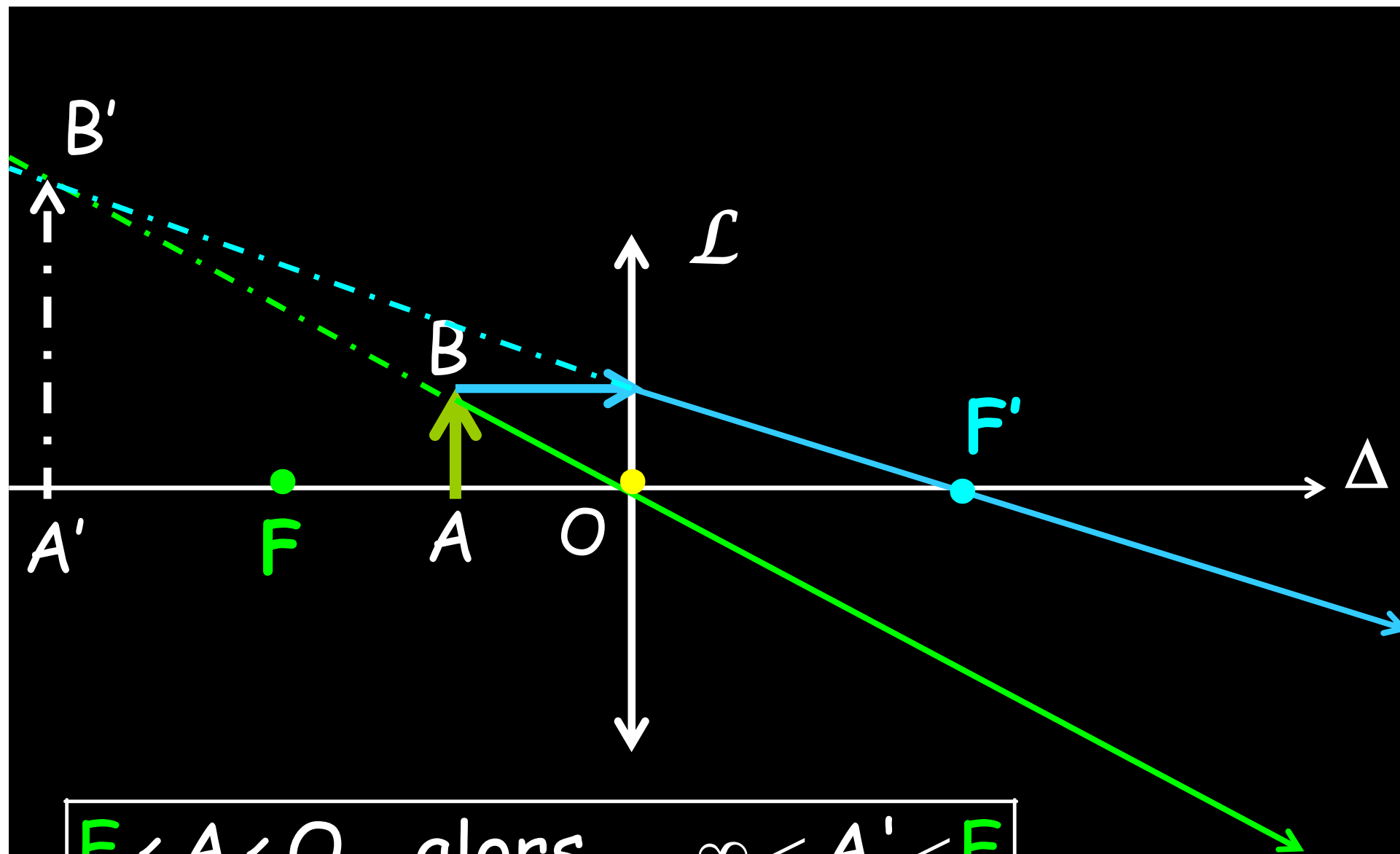
Distance focale de \mathcal{L}

$$f' = \frac{f'_1 \cdot f'_2}{f'_1 + f'_2}$$



$$-\infty < A < F \text{ alors } F' < A' < +\infty$$





$$F < A < O \quad \text{alors} \quad -\infty < A' < F$$

Exercice 16 : Association de deux lentilles minces convergentes

A.N.

$$1) \quad AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_1B_1 \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{\overline{O_1F_1'}} \Rightarrow \boxed{\overline{O_1A_1} = \frac{\overline{O_1A} \cdot \overline{O_1F_1'}}{\overline{O_1A} + \overline{O_1F_1'}}}$$

$$\boxed{\overline{O_1A_1} = \frac{(-40) \cdot (8)}{-40 + 8} = +10\text{cm}}$$

$$A_1B_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A_2B_2 \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_2A_2}} - \frac{1}{\overline{O_2A_1}} = \frac{1}{\overline{O_2F_2'}} \Rightarrow \boxed{\overline{O_2A_2} = \frac{\overline{O_2A_1} \cdot \overline{O_2F_2'}}{\overline{O_2A_1} + \overline{O_2F_2'}}}$$

A.N. $\boxed{\overline{O_2A_2} = \frac{(-20) \cdot (12)}{-20 + 12} = +30\text{cm}}$ avec $\overline{O_2A_1} = \overline{O_2O_1} + \overline{O_1A_1} = -30 + 10 = -20\text{cm}$

2)

$$\gamma_{1+} = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} = \frac{+10}{-40} = -0,25$$

$$\gamma_{2+} = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{O_2A_2}}{\overline{O_2A_1}} = \frac{30}{-20} = -1,5$$

$$\gamma_{+} = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} \cdot \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \gamma_{1+} \cdot \gamma_{2+} = 0,38$$

3) L'image finale A_2B_2 est alors réelle, droite plus petite que l'objet AB.

- 4) La vergence de ces deux lentilles espacées de $e=30\text{cm}$ de vergence respectivement V_1 et V_2 (doublet) s'écrit comme suit :

$$V = V_1 + V_2 - e \cdot V_1 \cdot V_2$$

$$V = \frac{1}{8 \cdot 10^{-2}} + \frac{1}{12 \cdot 10^{-2}} - 30 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1}{12 \cdot 10^{-2}}$$

La distance focale f' de ce doublet est :

$$f' = \frac{1}{V} = \frac{1}{-10,42} = -0,096\text{m} = -9,6\text{cm}$$

5)

Si les 2 lentilles sont accolées, alors la vergence :

$$V = V_1 + V_2 \Rightarrow V = \frac{1}{8 \cdot 10^{-2}} + \frac{1}{12 \cdot 10^{-2}} = 100 \cdot \frac{20}{96} = 20,83\delta$$

$$V = 20,83\delta \Rightarrow f' = \frac{1}{V} = \frac{1}{20,83} = 4,8 \cdot 10^{-4}\text{m} = 0,48\text{mm}$$

Fin...

Fin de l'exercice 16



Les instruments d'optique

L'œil , La loupe, et le microscope

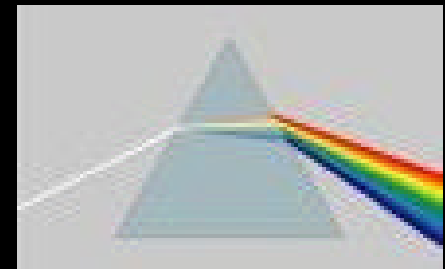
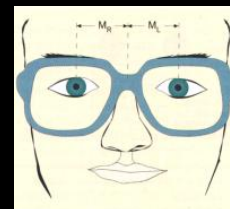
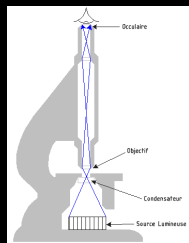
SVT session d'automne 2012

Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

Généralités sur les instruments d'optiques :

Classification : Les instruments d'optiques sont de types différents très variés.

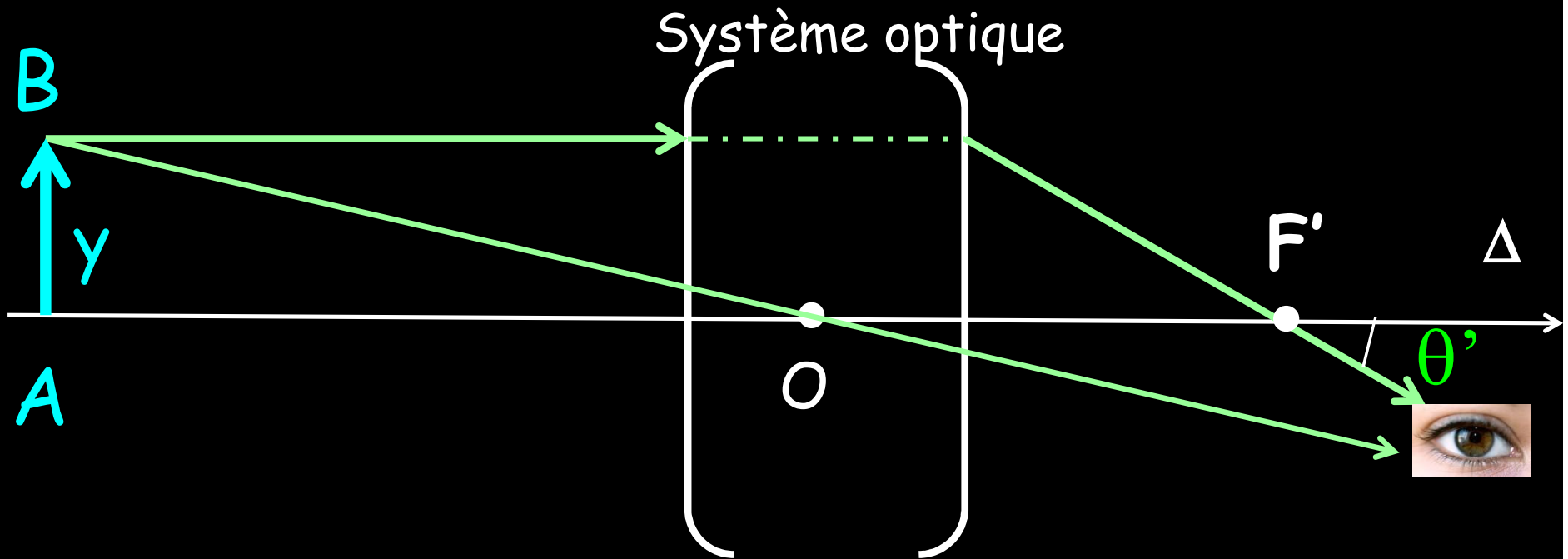
1. Les plus fréquemment utilisés sont des appareils destinés à aider l'œil dans l'observation des objets.
2. Analyser la lumière émise ou absorbée (spectrographe).



Un instrument d'optique est caractérisé par les paramètres suivants :

Grandissements $\gamma_{\text{transversal}}$ et γ_{axial} : Facteurs qui caractérisent les grandeurs de l'image obtenue à l'aide de cet instrument d'optique comme le microscope et l'objectif photographique.

$$\gamma_{\text{transversal}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \quad \text{et} \quad \gamma_{\text{axial}} = \frac{d\overline{OA'}}{d\overline{OA}}$$



Soit θ' le diamètre apparent de l'image. θ' est l'angle sous lequel l'observateur voit à travers l'instrument une dimension y déterminée de l'objet. Ce diamètre est proportionnel à la grandeur y de la dimension correspondante de l'objet.

Image 'taille angulaire' $\leftarrow \theta' = \frac{y}{f'}$ \rightarrow Objet 'taille linéaire' \rightarrow Instrument 'distance focale'

Vergence

$$V(\delta) = \frac{1}{f'(m)}$$

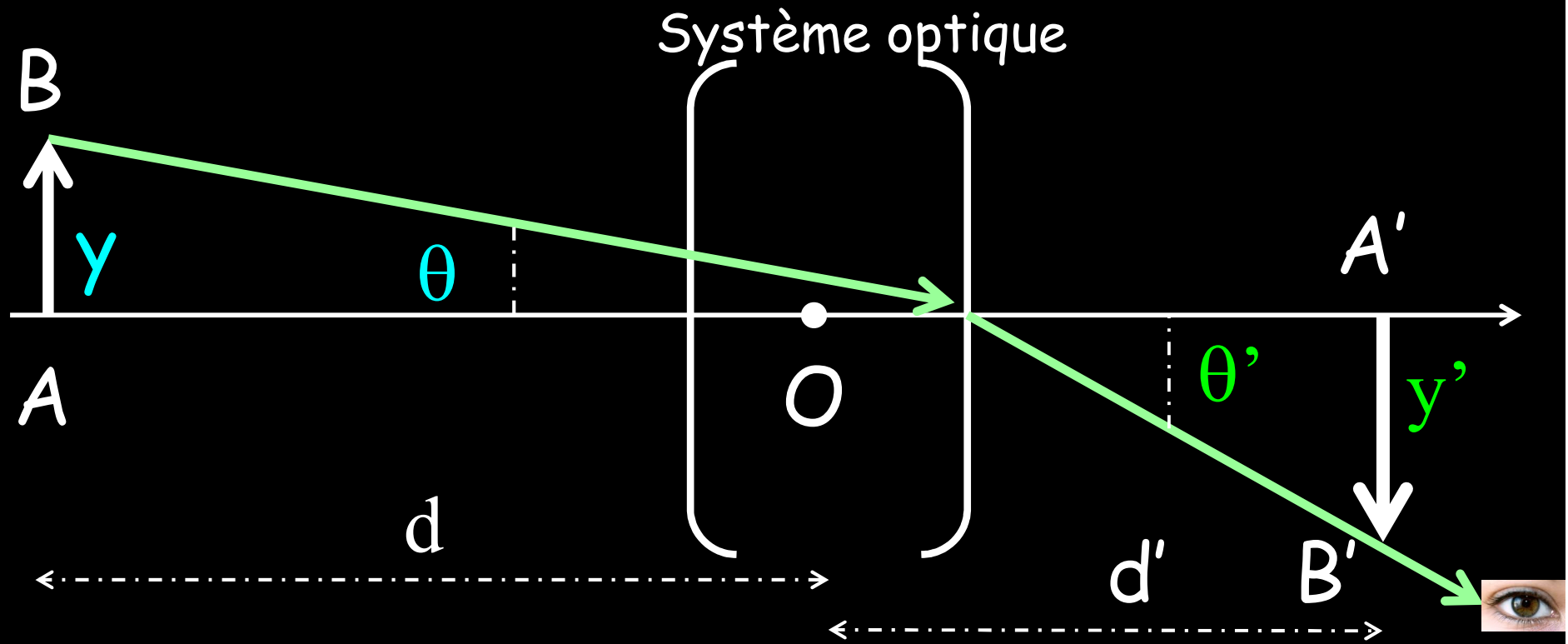
Puissance P : Facteur qui caractérise uniquement les instruments destinés à la vision d'objets rapprochés comme la loupe et le microscope.

$$P(\text{Dioptries}) = \frac{\theta'(\text{rd})}{y(\text{m})}$$

Il est à remarquer que θ' peut être exprimer en fonction de la vergence V du système optique :

$$\theta' = y \cdot V \quad P = V$$

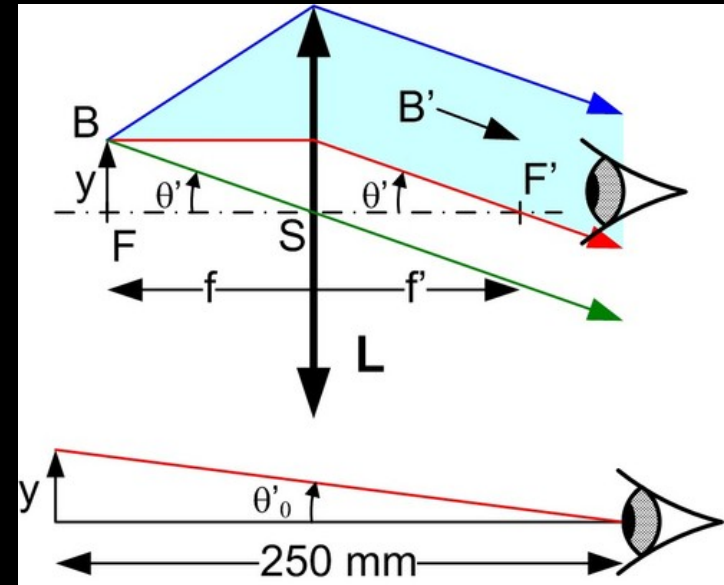
La puissance est égale à la vergence de l'instrument d'optique.



Grossissement G : Pour les objets rapprochés, on utilise les instruments d'optiques comme la loupe et le microscope. Le grossissement est défini par l'expression suivante :

$$\begin{cases} \theta = \frac{y}{d} \\ \theta' = \frac{y'}{d'} \end{cases}$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \geq 1$$



$$\theta \simeq \frac{y}{d} \quad \text{et} \quad \theta' \simeq \frac{y'}{d'}$$

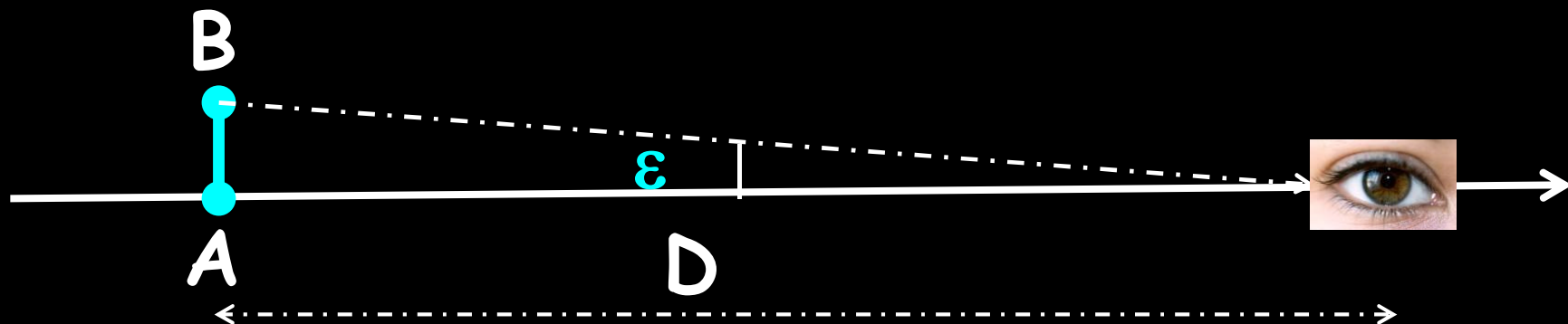
$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta'}{y} \cdot d = P \cdot d = V \cdot d$$

où la **vergence** V est égale à la **Puissance** P , avec d est la distance à l'objet et d' la distance à son image.

Pouvoir séparateur : est un paramètre qui se rapporte à la limite de perception des détails :

$$\text{tg}(\varepsilon) = AB/D = \varepsilon_{rd}$$

C'est souvent la qualité la plus importante pour un instrument d'optique.



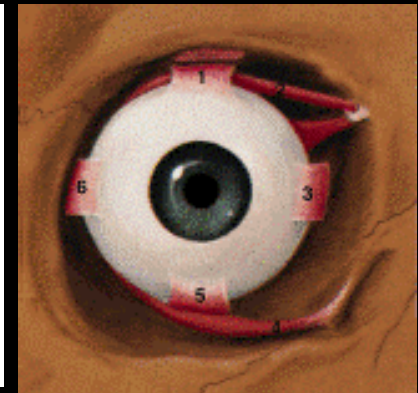
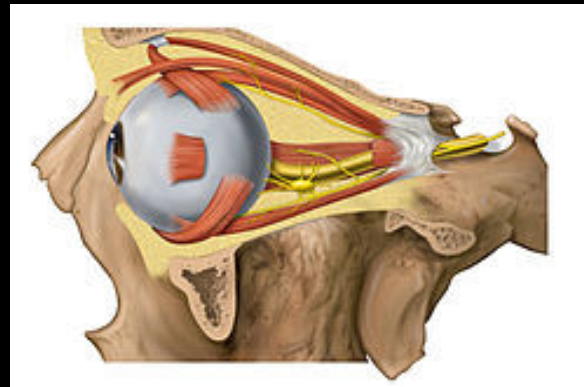
L'œil



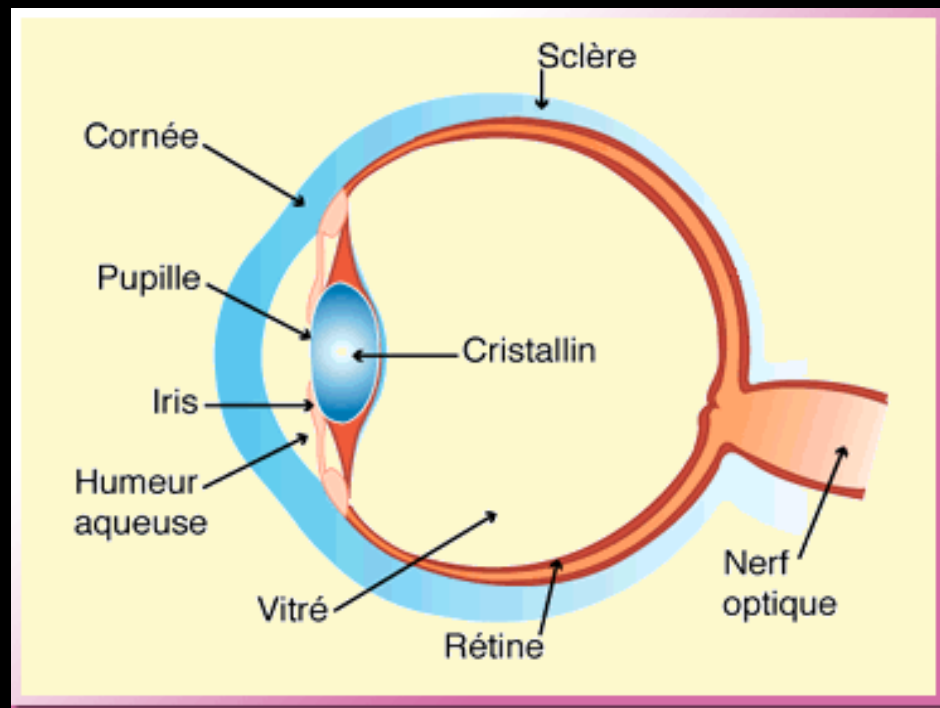
Description :

L'œil est l'organe de la vision. Il sert à observer directement des objets ou bien à examiner les images formées par des systèmes d'optiques. Son rôle est fondamental dans l'étude de l'optique.

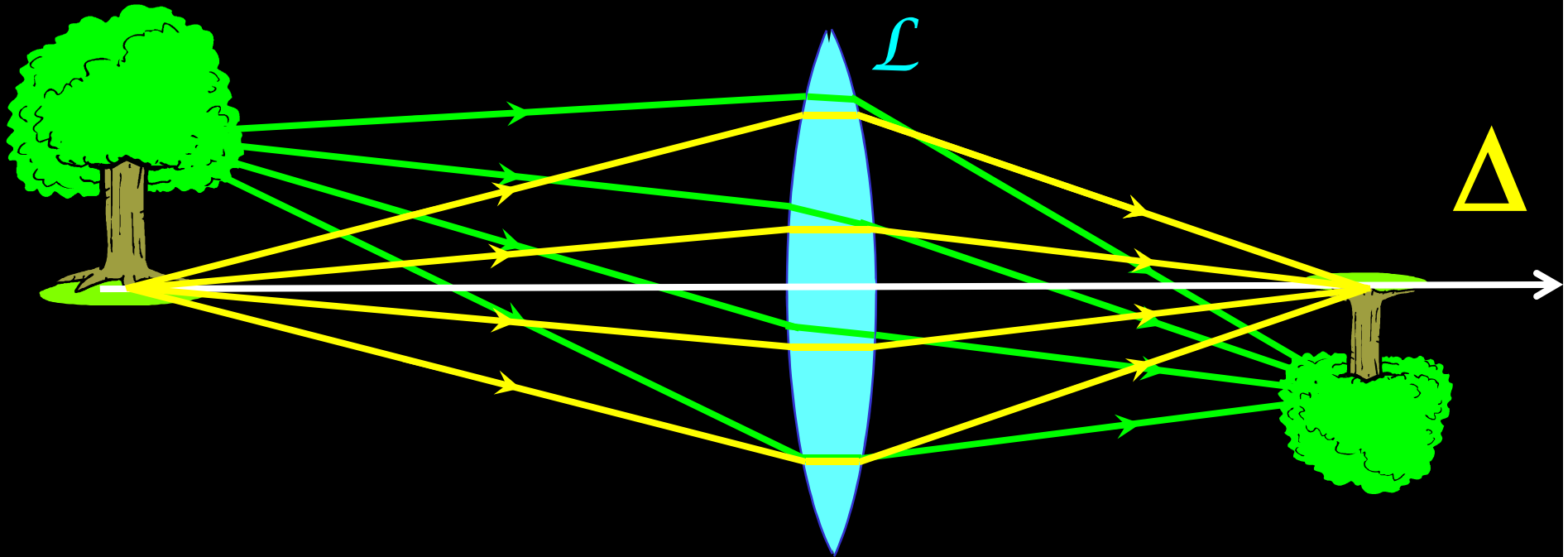
L'œil est un globe de 8 grammes, de 25 mm environ de diamètre, recouverte d'une enveloppe blanche, la **sclérotique**, membrane d'épaisseur voisine de 2 mm, dont la partie antérieure ou **cornée**, bombée (8mm de rayon), est transparente, pour laisser passer la lumière.



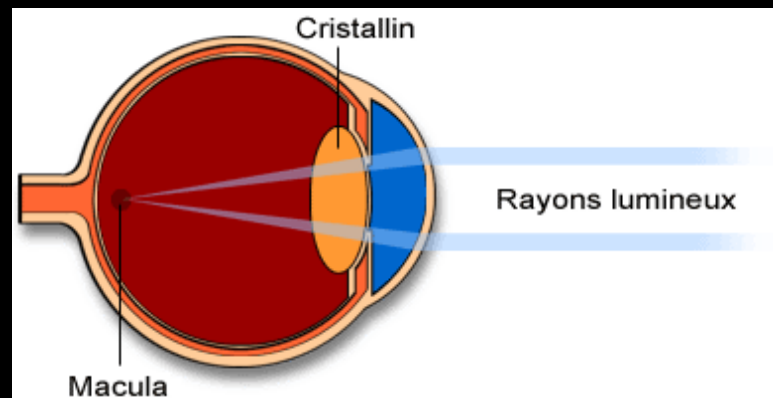
- Le **cristallin** est une lentille qui converge la lumière sur le fond de l'œil qui est la **rétine**.
- La couleur des yeux est assurée par **l'iris**, un diaphragme devant le **cristallin**, qui commande l'ouverture de **la pupille** a un diamètre variable de 2 à 8 mm, selon l'âge de la personne.



De point de vue optique, l'œil fonctionne comme un appareil photographique. L'image formée est inversée pour les deux.



Le **fond de l'œil** est tapissé par la **rétine R**, écran sur lequel se forme l'image. La rétine est composée de diverses couches de faibles épaisseurs (10 à 40 μm). Une couche est constituée de deux sortes de cellules, de formes différentes, **les cônes** ayant un diamètre de 4mm, et **les bâtonnets**. La rétine est l'épanouissement du **nerf optique**, dont les filaments aboutissent à ces cellules.



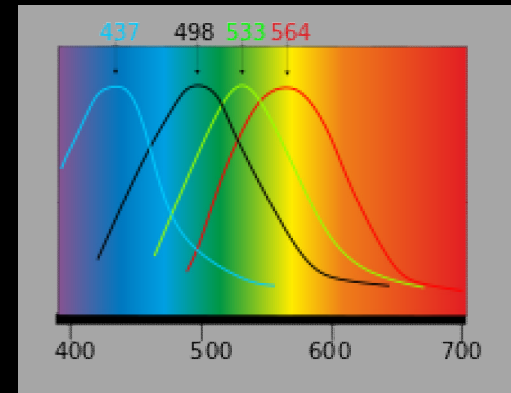
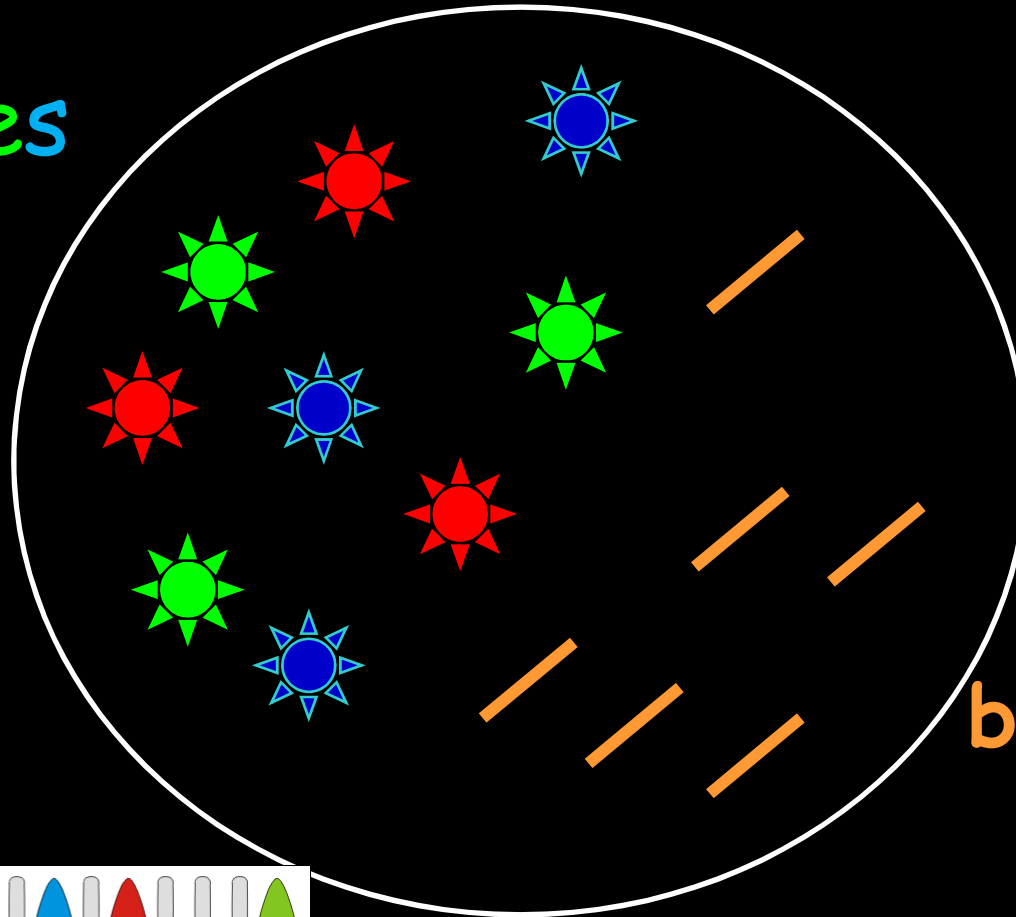
La répartition de ces cellules n'est pas régulière : une légère dépression, la **Fovea centralis**, de 0,3 mm de diamètre, ne comprend que des **cônes** et se place au centre de la **tache jaune T** (diamètre 2mm).

En fait, la sensibilité de la rétine pour la vision diurne est limitée à cette **tache T** (riche en **cônes**), légèrement écartée de l'axe de l'œil.

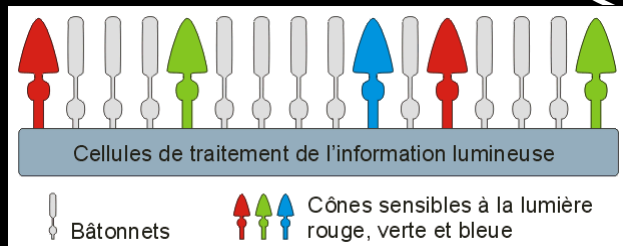
En revanche, la sensibilité de la rétine pour la vision nocturne est limitée à la région riche en **bâtonnets**.

Les bâtonnets assurent la vision quand la lumière diminue d'intensité.

cônes



bâtonnets



Comment l'œil perçoit les couleurs ?

- **Les daltoniens** n'arrivent pas à faire une association de couleurs. Donc ils n'aperçoivent pas une ou deux des couleurs principales : **confusion de couleurs**.
- 8% de la population mondiale sont des daltoniens, dont la majorité sont des garçons.
- Les mamans qui transmettent ce défaut visuel aux garçons.
- Les deux yeux sont écartés de 7 cm, ce qui fait qu'ils ne voient pas la même chose. D'où la notion du **perspective**

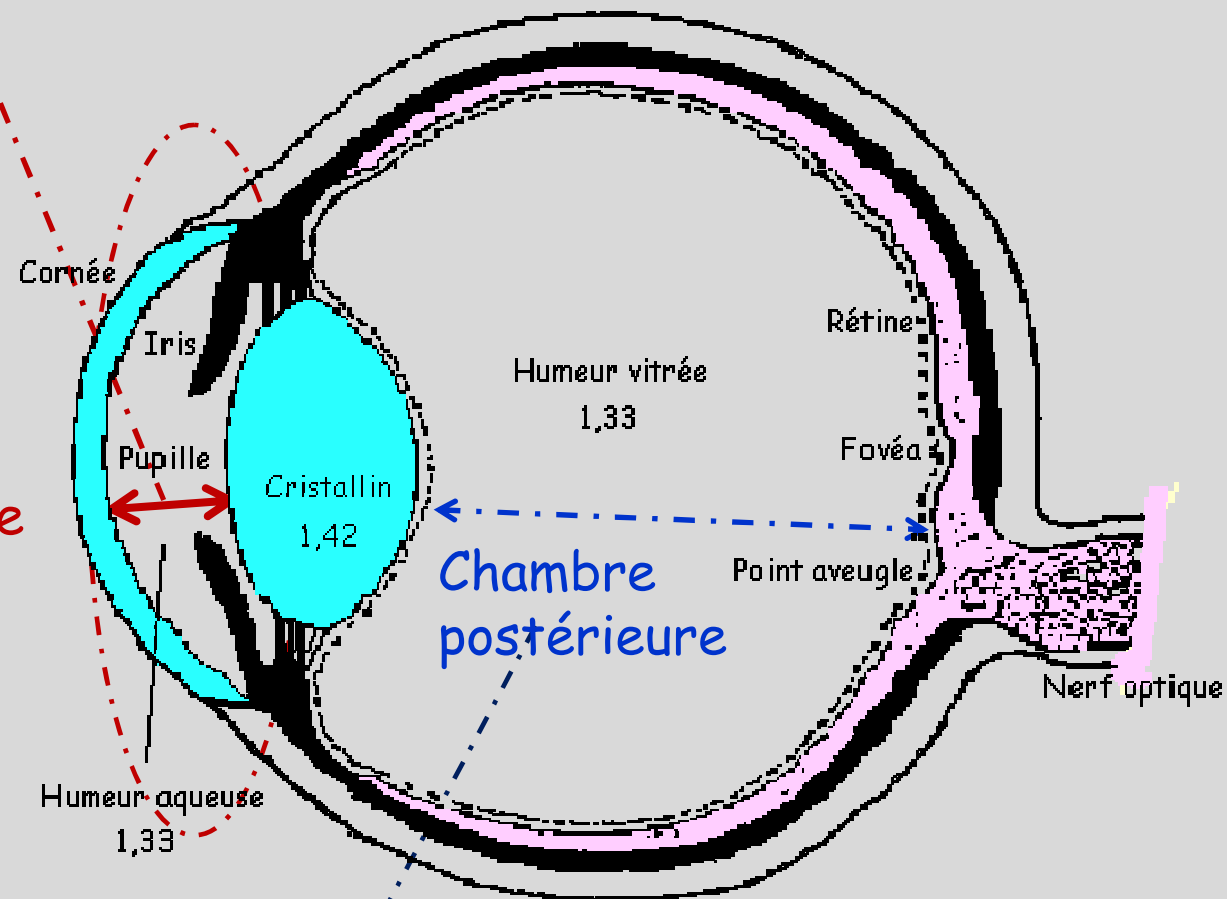


Le cristallin est une sorte de lentille, non homogène, épaisse de 4 mm environ, formée de couches superposées capables de glisser les unes sur les autres. Son indice de réfraction croît de 1,36 sur les bords à 1,42 sur l'axe. Sa distance focale **f'** est donc **variable**.

Les rayons de courbure sont respectivement 10mm pour la face antérieure et 6 mm seulement pour la face postérieure. Il est à mentionner que le **cristallin** possède un diamètre d'environ 10 mm.

4 mm & $n=1,336$

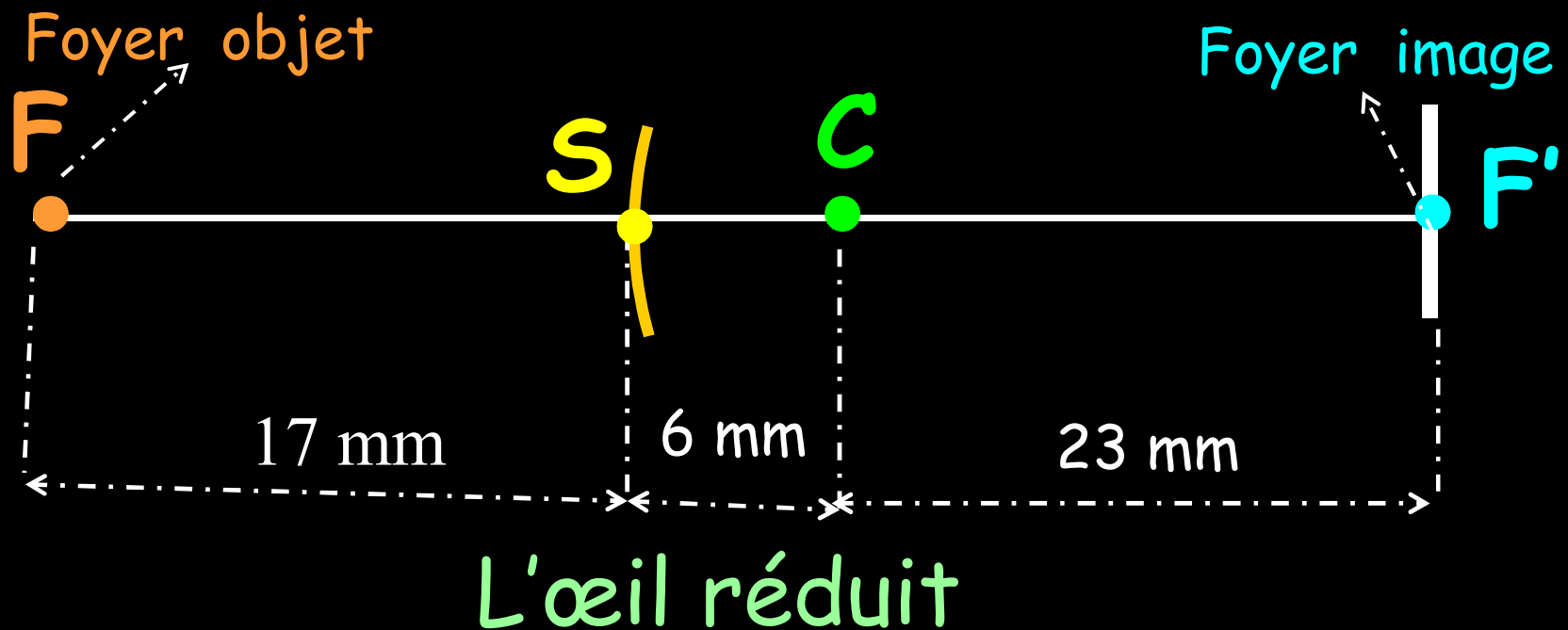
Chambre
antérieure



Taille de l'oeil normal : 25 mm

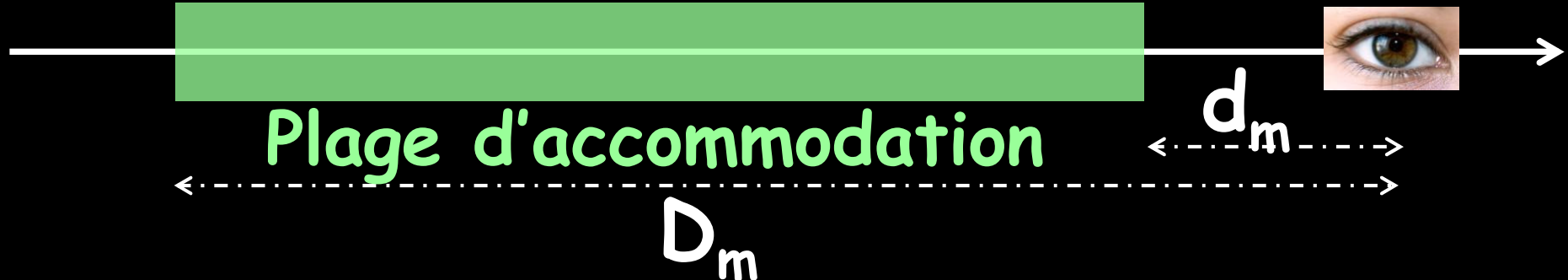
16 mm & $n=1,330$

Au point de vue optique, l'œil est équivalent à un **dioptre sphérique** de **sommet S**, de **centre C**, de 6 mm de rayon, séparant l'air d'indice 1 et le milieu d'indice 1,336 : ce dioptre est appelé **œil réduit**, représenté par le schéma :



Pour un œil normal, l'image d'un objet d'abord très éloigné et puis rapproché de cet œil, se forme premièrement sur la rétine puis derrière la rétine et **il cesse d'être vu nettement**.

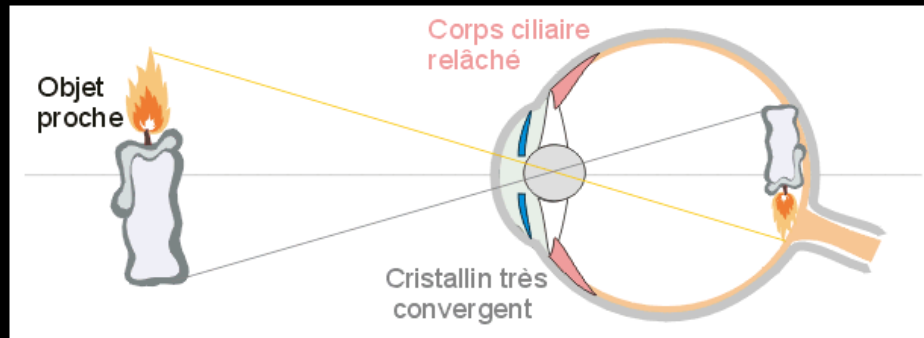
∞ **Zone de vision distincte**



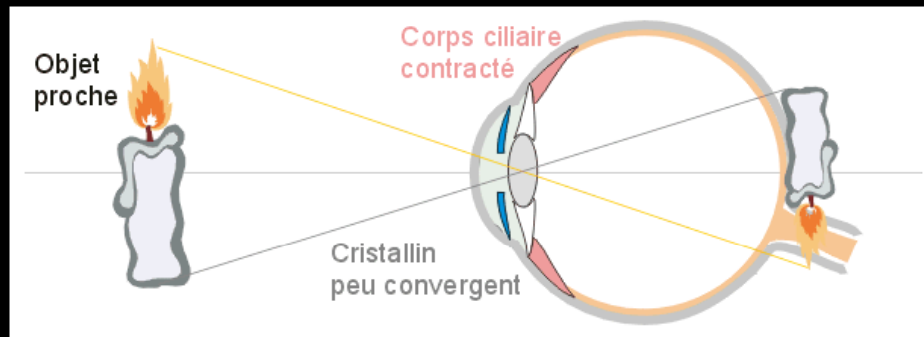
Or, on constate que **la vision reste bonne** : donc l'œil a subi une modification qui a pour effet de ramener sur la rétine l'image d'un objet rapproché : on dit que l'œil **accommode**.

L'accommodation se traduit par une augmentation de la **vergence** du **cristallin** grâce à un accroissement de la courbure des faces et peut-être à une variation d'indice.

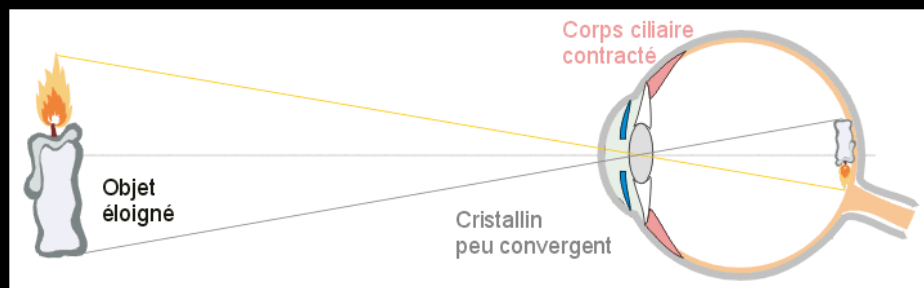
Ces déformations sont obtenues par pression des muscles de la zonule, principalement sur la face antérieure du **cristallin** ; cette action musculaire, si elle est prolongée, s'accompagne d'une **fatigue**.



repos

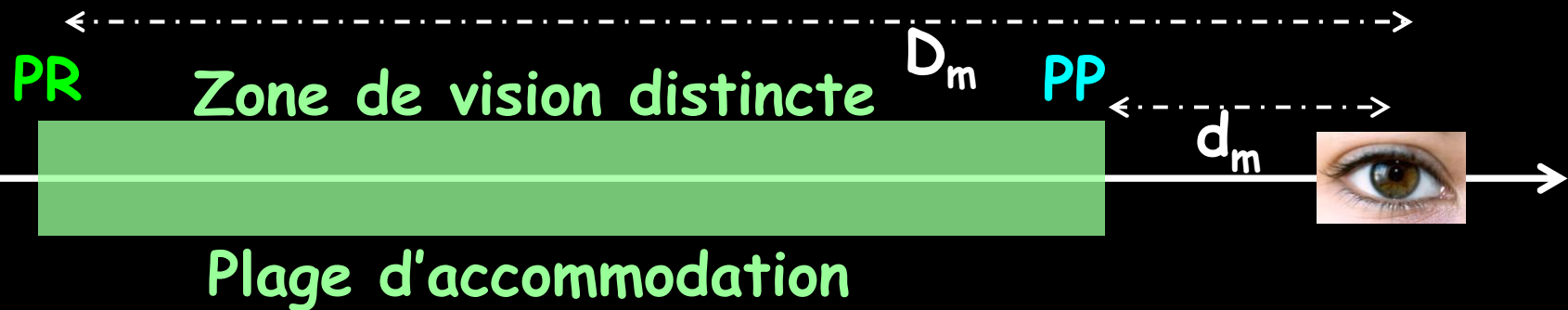


Objet Flou sans Accommodation



Objet net avec Accommodation

L'œil ne voit l'image nette que si celle-ci se forme sur la rétine.



La zone de vision distincte est limitée par:

1. **P**unctum **P**roximum **PP** est le point le plus proche de l'œil.
2. **P**unctum **R**emotum **PR** est le point le plus éloigné de l'œil.

on peut définir le **P**unctum **P**roximum (**PP**) et le **P**unctum **R**emotum (**PR**) comme étant les points pour lesquels l'œil a sa **puissance (vergence)** maximale et minimale. Cette définition permet de fixer avec précision la position de **PP** et de **PR**.

PP Punctum Proximum est situé à la distance minimale d_m de vision distincte. Cette distance d_m ne peut pas être définie avec précision, elle varie avec l'âge ; pour un œil normal, elle est de l'ordre de 15 cm à 20 ans.

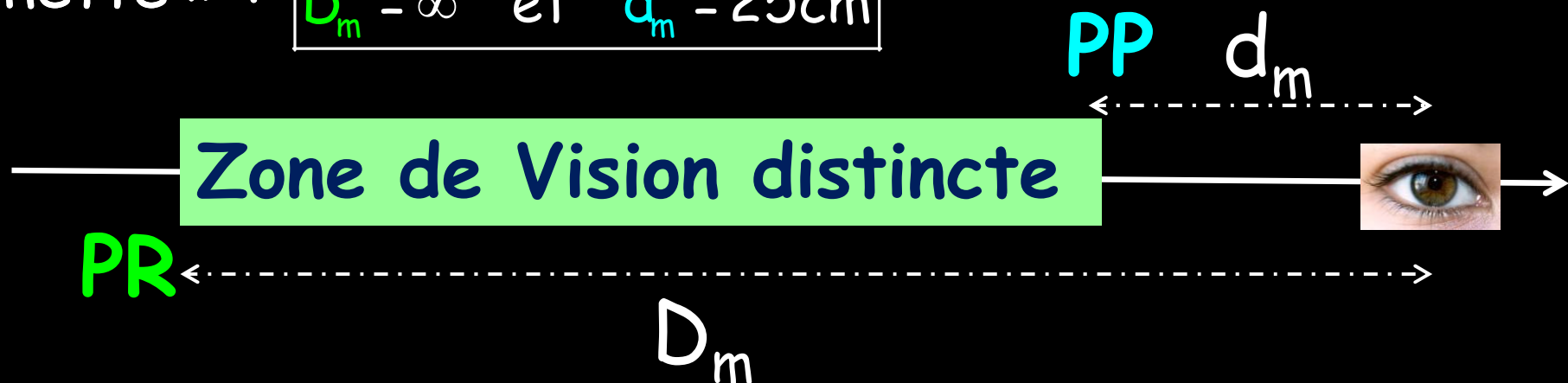
L'œil au repos, voit nettement à une distance maximale D_m correspondant au **Punctum Remotum**, noté **PR**.

Zone de vision distincte



En accommodant, l'œil augmente sa vergence, ce qui rapproche le plan de mise au point ; le cristallin est alors bombé. Le Punctum Proximum PP correspond donc à la vergence V maximale et à la distance minimale d_m de vision distincte. En revanche, le Punctum Remotum PR, correspond à la vergence minimale du cristallin et à la distance maximale D_m de vision distincte.

Pour un œil normal d'adulte, le domaine de « vision nette » : $D_m = \infty$ et $d_m = 25\text{cm}$



Principaux défauts de l'œil

Principaux défauts de l'œil

L'œil normal

Zone de Vision distincte

PR

PP

d_m

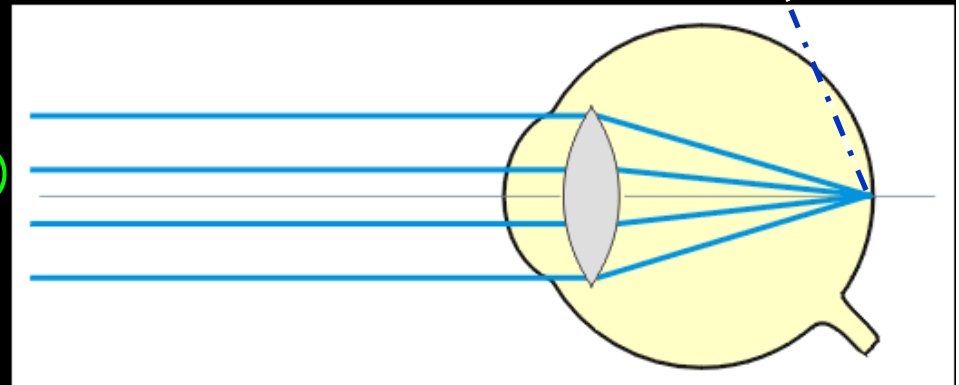
D_m

Nous considérons comme normal un œil qui, en l'absence d'accommodation, donne d'un objet à l'infini une image sur la rétine. Le point le plus éloigné qu'il peut voir ou Punctum Remotum **PR** est à l'infini. L'œil normal est dit **emmétrope**.

$$D_m = \infty \quad \text{et} \quad d_m = 25\text{cm}$$

∞

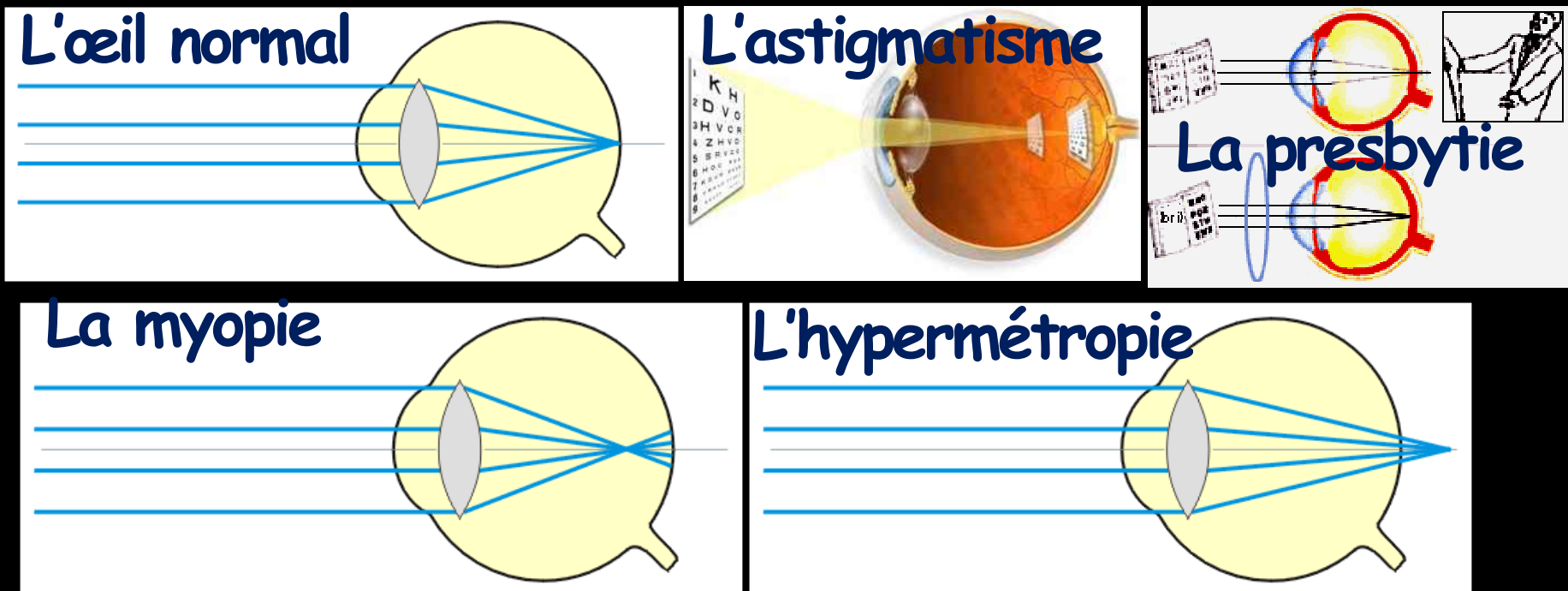
rétine



Si, un œil étant au repos, l'image d'un point à l'infini se forme en avant ou en arrière de la rétine, l'œil est dit anormal ou amétrope.

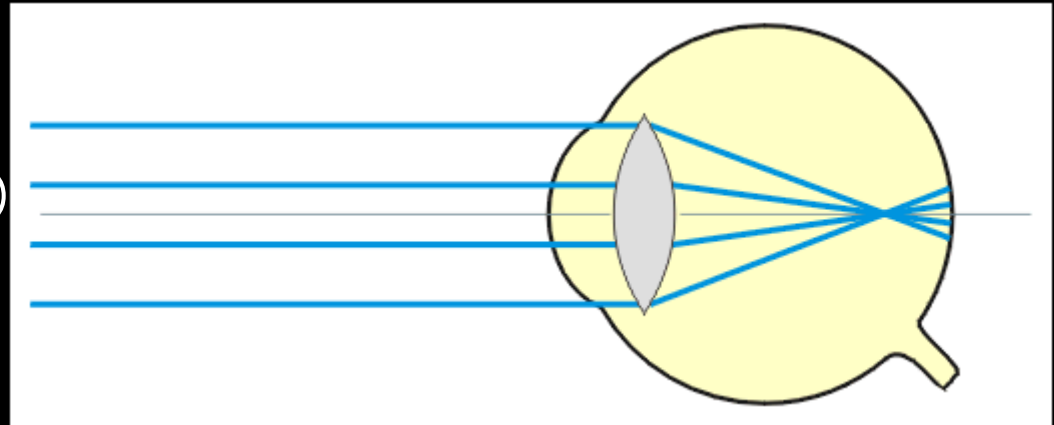
Les défauts d'accommodation les plus répandus sont la **myopie**, l'**hypermétropie** et l'**astigmatisme**.

la **presbytie** est due au vieillissement du cristallin.



L'œil myope

∞



Un œil **myope** est trop convergent. Un œil est donc myope quand F' , son plan focal image, est en avant de la rétine. L'œil myope est donc trop profond pour sa convergence, si l'on admet que tous les yeux ont sensiblement la même puissance.

Au repos il ne peut pas voir un objet à **l'infini**, l'accommodation ne ferait qu'aggraver le défaut.

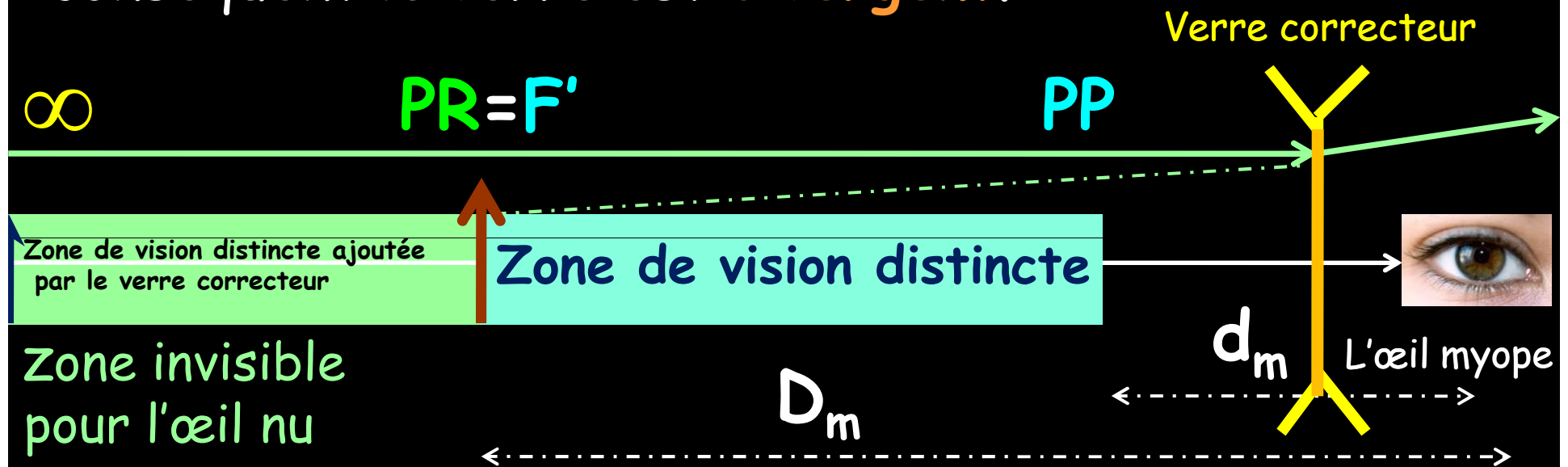
Si l'objet se rapproche, l'image se rapproche de la rétine et se forme sur elle, toujours en l'absence d'accommodation, quand l'objet atteint le **Punctum Remotum** (une dizaine de cm) de cet œil myope.

L'œil **myope** accommode pour voir les objets les plus rapprochés et atteint la limite au **Punctum Proximum**. Comme son **Punctum Reotum** n'est pas à l'infini, il est très proche de l'œil (une dizaine de cm). Sa zone de vision distincte est alors très réduite.



Comment élargir la zone de vision distincte de ce myope ?

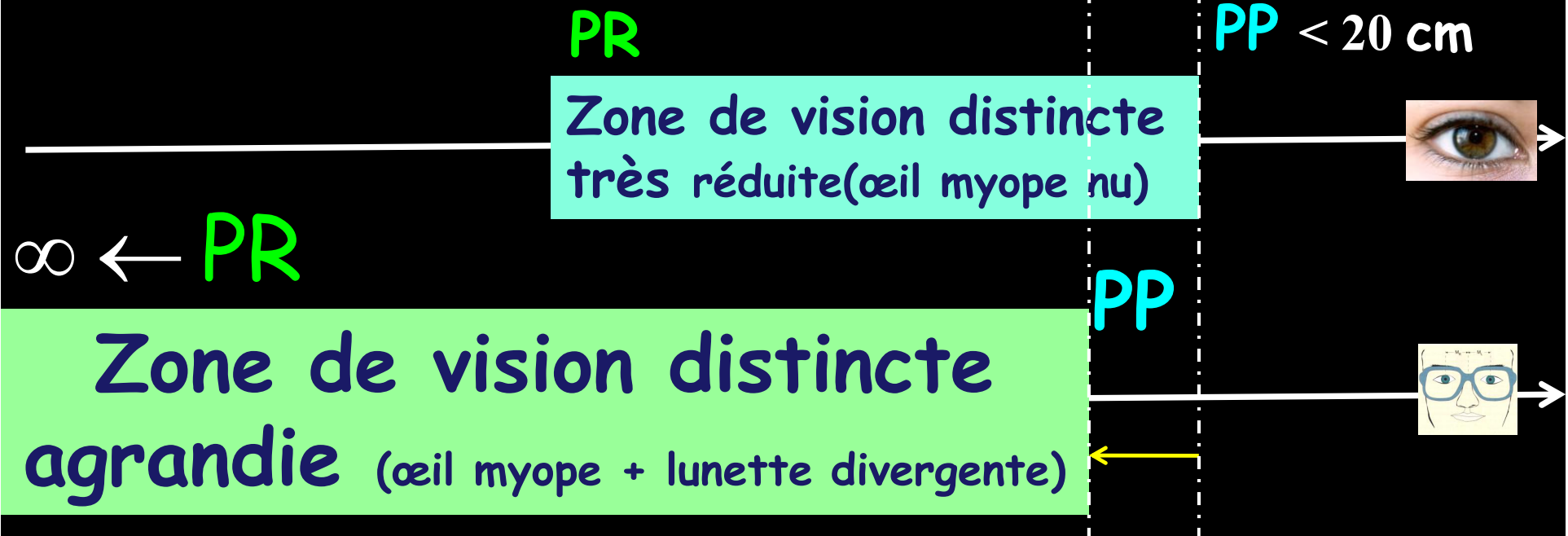
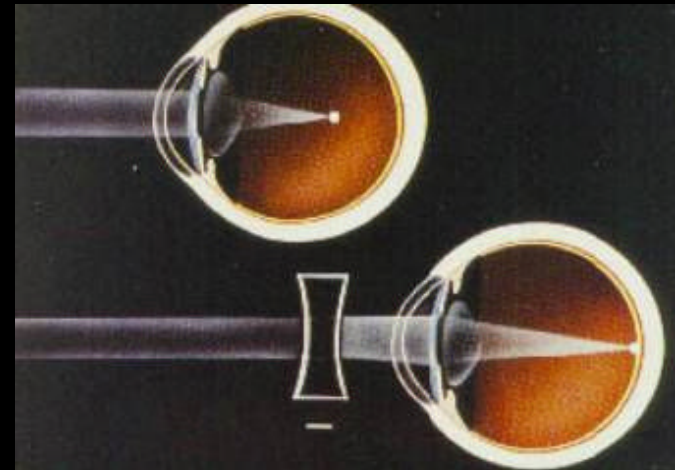
Pour **augmenter** cette zone de vision distincte de ce myope, on utilise un **verre correcteur** dont le foyer principal image **F'** coïncide avec son **PR**, par conséquent le verre est **divergent**.



Verre correcteur

$$\infty \xrightarrow{\text{Verre correcteur}} PR \Rightarrow \frac{1}{\underbrace{OPR}_{\text{image}}} - \frac{1}{\underbrace{\infty}_{\text{objet}}} = \frac{1}{\underbrace{f'}_{\text{lentille}}}$$

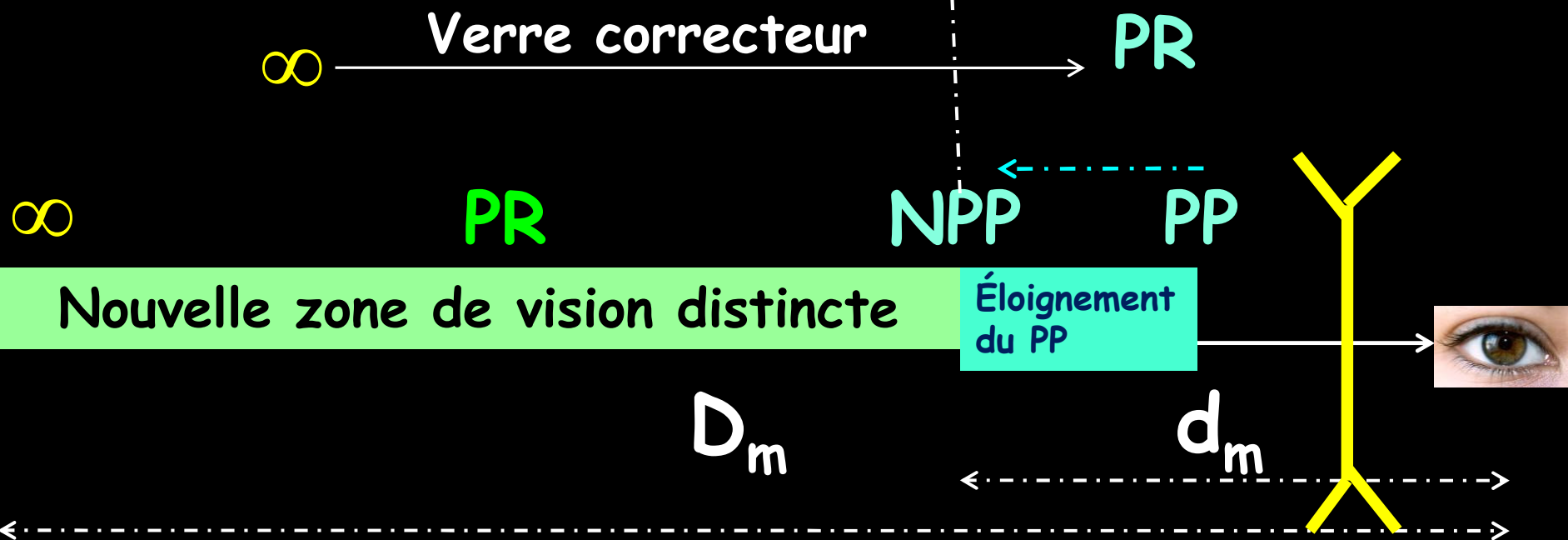
La myopie se corrige en plaçant devant l'œil une lunette divergente de distance focale le PR de cet œil myope : $f' = PR$



Remarque : Pour observer un objet situé avant le **P**onctum **P**roximum (**PP**) le **myope** a intérêt à retirer ses lunettes : accommodation moindre sans verres correcteurs.

$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR} \Rightarrow \boxed{PP' = NPP = \frac{PR \cdot PP}{-PP + PR} = \frac{f' \cdot PP}{-PP + f'}}$$

Position du nouveau **NPP**



$$PP = -25\text{cm} \quad PR = -100\text{cm} \Rightarrow NPP = -33\text{cm} \quad NPR = \infty$$

$$\begin{array}{l}
 \text{PP} \xrightarrow[\text{correcteur}]{\text{verre}} (\text{PP})' \quad \frac{1}{d_m'} - \frac{1}{d_m} = V, \quad \frac{1}{D'} - \frac{1}{D} = V \\
 \text{PR} \xrightarrow[\text{correcteur}]{\text{verre}} (\text{PR})'
 \end{array}$$

d'ou

$$\boxed{\frac{1}{D} - \frac{1}{d_m} = \frac{1}{D'} - \frac{1}{d_m'} = A}$$

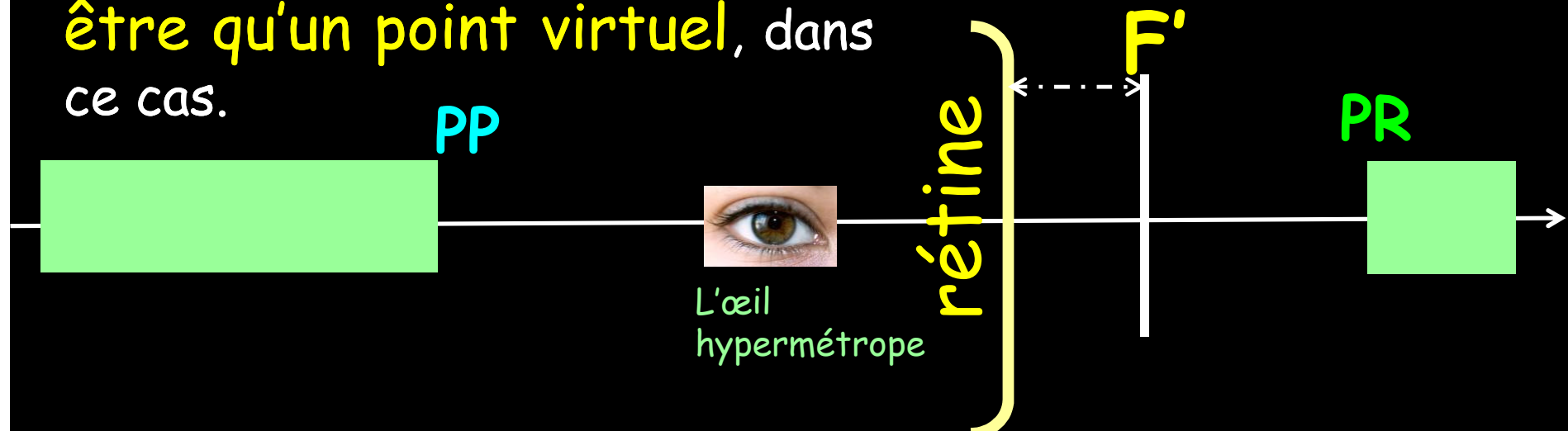
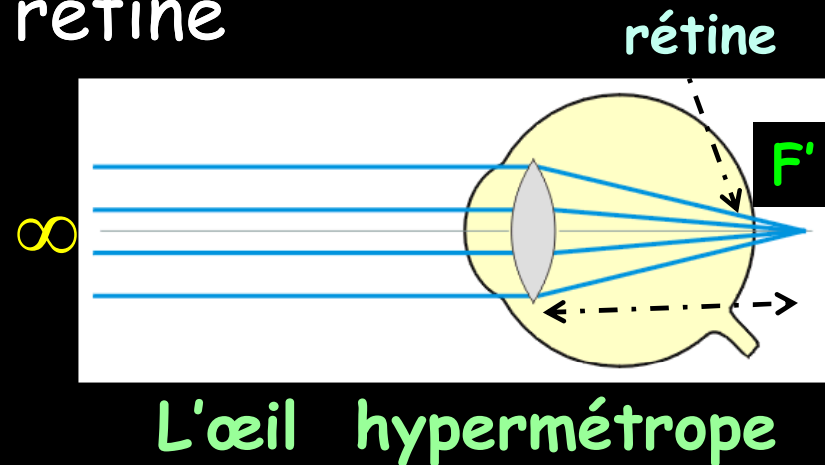
L'amplitude dioptrique A mesure la vergence du verre qui donnerait du PP une image située au PR.

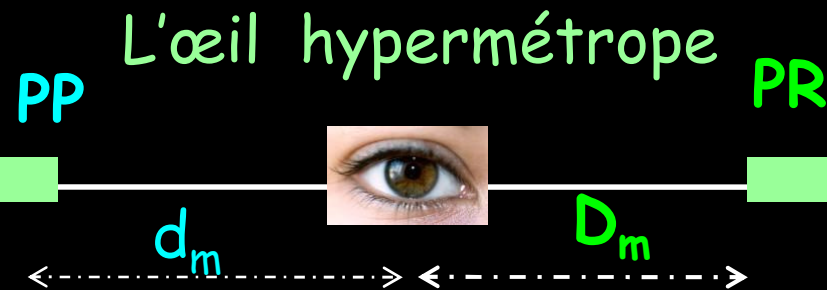
Ce résultat n'est valable qu'en cas où le verre correcteur est placé tout contre l'œil.

Il y a conservation de l'amplitude dioptrique pour un œil auquel on adjoint un verre de vergence V .

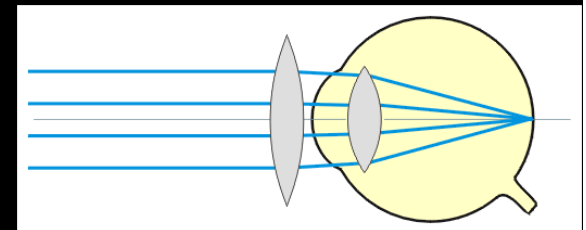
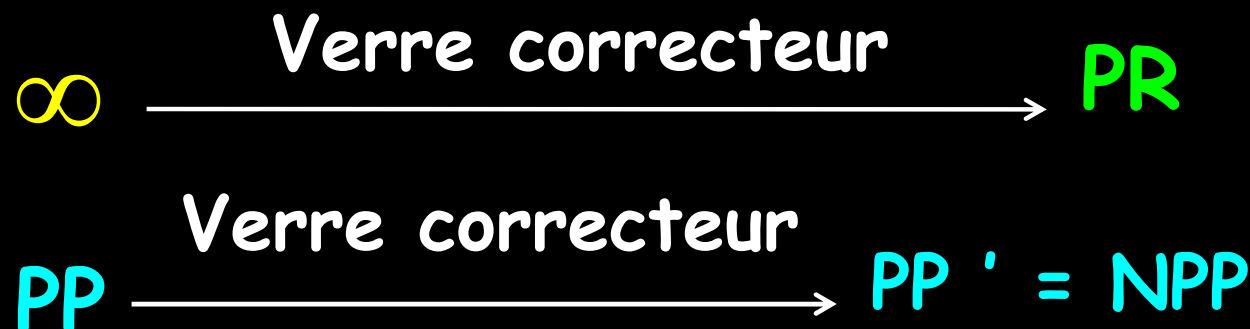
L'œil **hypermétrope** est trop court pour sa convergence, c'est-à-dire il n'est pas assez convergent. L'image **F'** d'un point situé à l'infini est alors placée derrière la rétine

Le **foyer image F'** de cet œil hypermétrope au repos, est en arrière de la rétine et comme le conjugué du **PR** doit être sur la rétine de l'œil non accommodé, donc en avant de **F'**, **PR ne peut être qu'un point virtuel**, dans ce cas.





Il faut accommoder pour voir les **objets virtuels** situés en arrière de **PR** et les points réels situés en avant du **PP**, lequel est plus loin que dans le cas de l'œil normal. Sa distance minimale d_m peut être égal à 50 cm ou plus. **L'hypermétropie** se corrige en plaçant devant l'œil une **lunette convergente**.

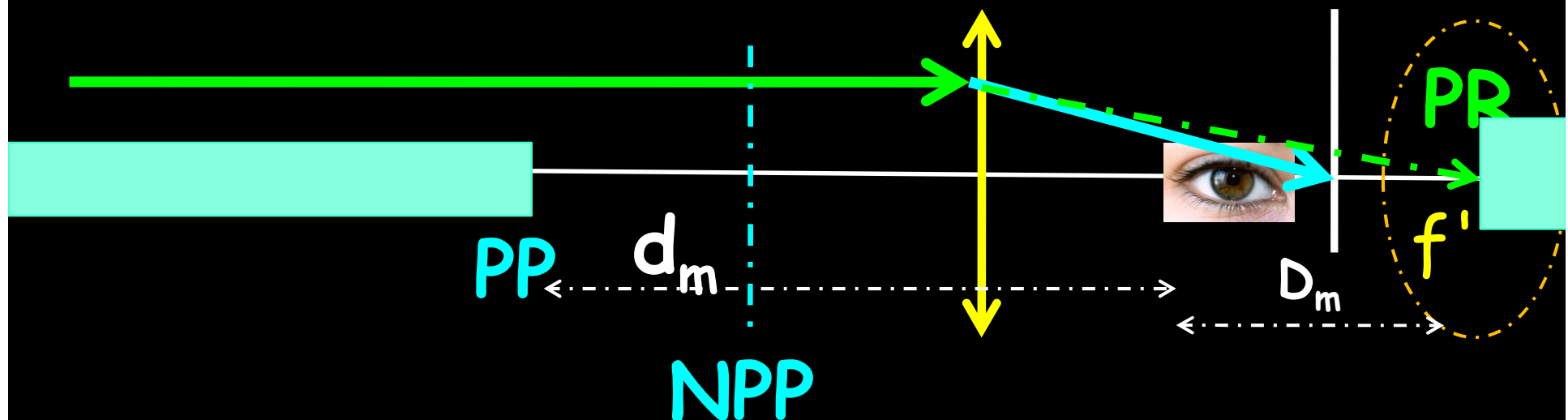


Pour un **œil hypermétrope**, le verre correcteur est convergent, $V > 0$, il doit augmenter la faible convergence de cet œil.

∞ Verre correcteur \rightarrow PR

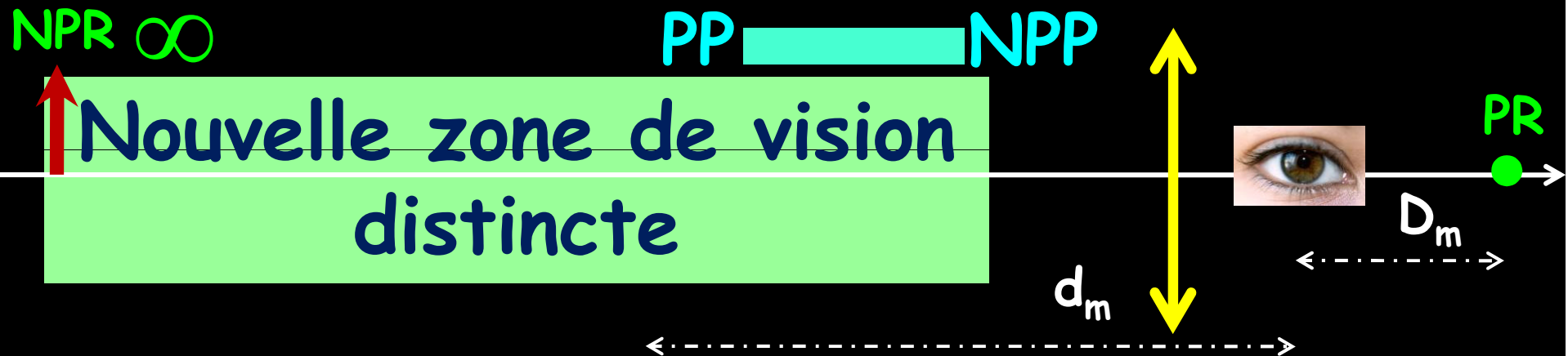
$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR}$$

PP Verre correcteur \rightarrow PP' = NPP



Exemple

$$PP = -70\text{cm} \quad PR = 20\text{cm} \Rightarrow NPP = -14\text{cm} \quad NPR = \infty$$



$$\boxed{\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{PR}} \Rightarrow \boxed{PP' = NPP = \frac{PR \cdot PP}{-PP + PR}}$$

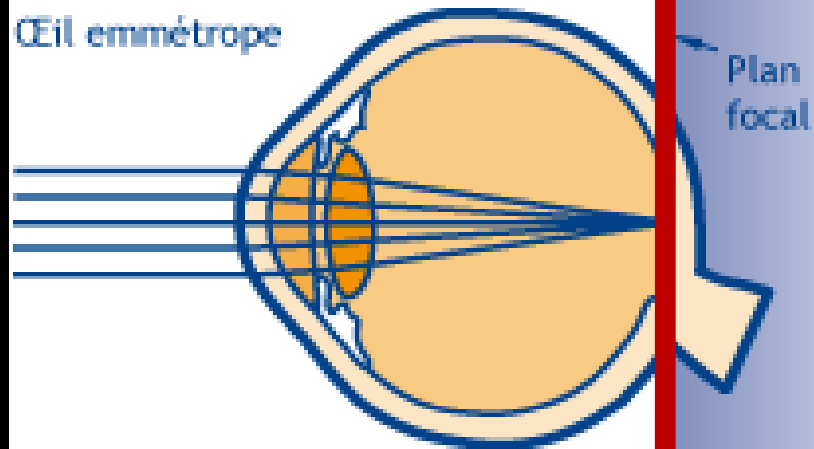
$$PP \xrightarrow{\text{Verre correcteur}} PP' = NPP$$

l'œil normal

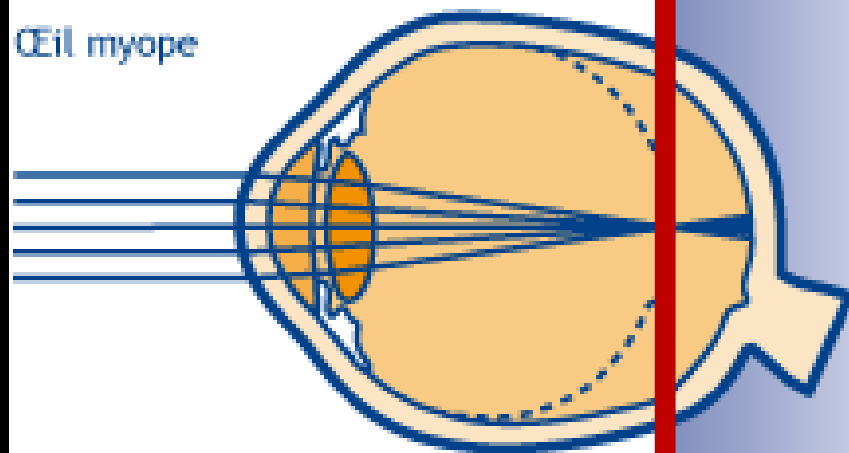
L'œil myope

L'œil hypermétrope

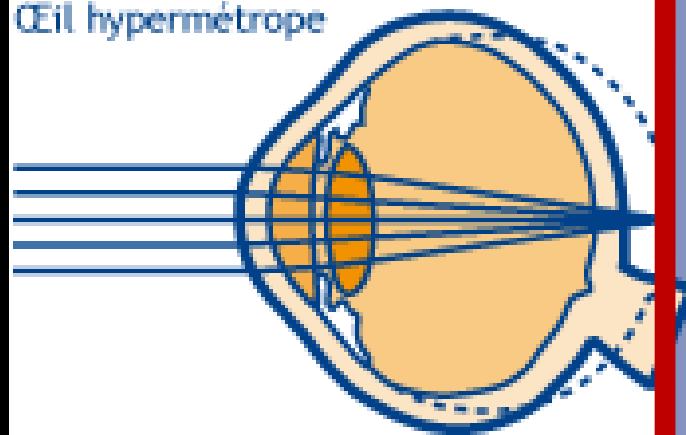
Œil emmétrype



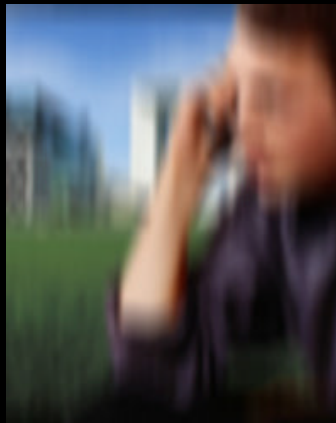
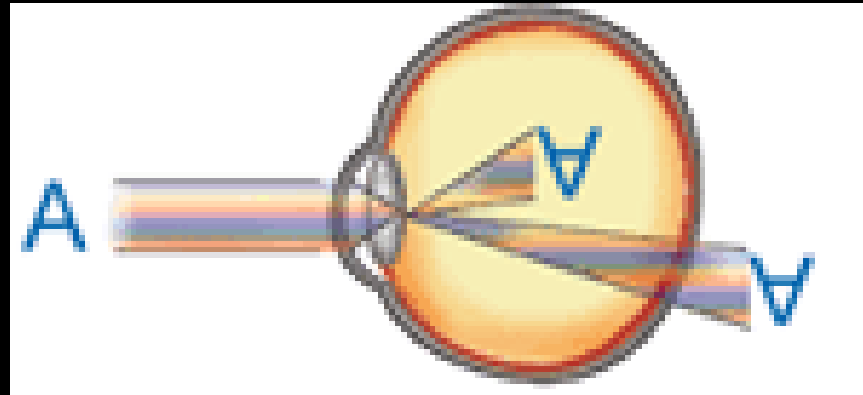
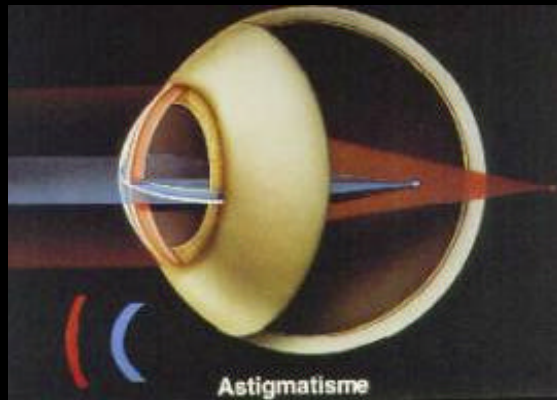
Œil myope



Œil hypermétrope

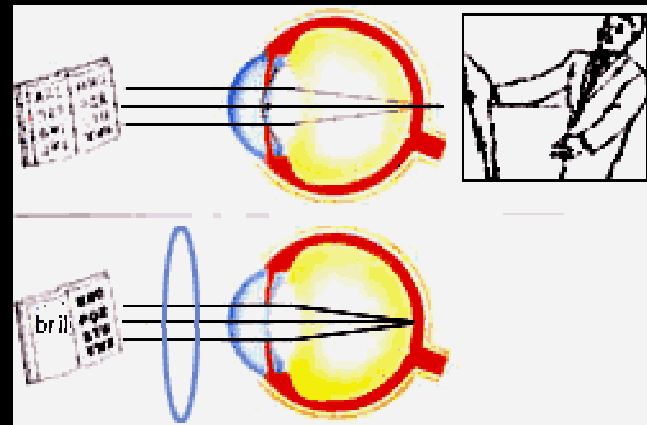


Astigmatisme : Il y a astigmatisme de l'œil lorsque celui-ci ne possède pas la symétrie de révolution. On corrige ce défaut à l'aide de verres non sphériques.



Presbytie : La faculté d'accommodation, liée à un effort musculaire, diminue avec l'âge : le **PP** s'éloigne progressivement de l'œil, le **PR** restant à peu près fixe.

L'**amplitude dioptrique A** diminue et, pour un œil emmétrope, passe d'une dizaine de dioptries, à 20 ans, à 1 dioptrie vers 60 ans. On dit que l'œil devient **presbyte**.



La presbytie est alors la diminution de la faculté d'accommodation due au vieillissement de l'œil.

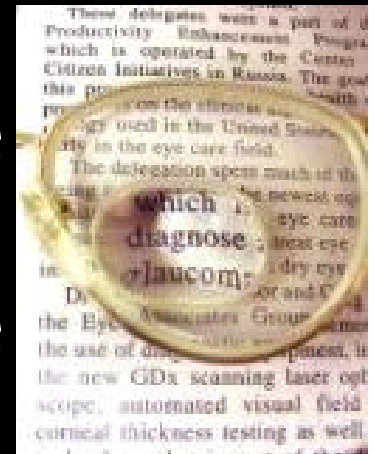
Un œil normal, devenu presbyte, voit encore nettement les objets éloignés, mais pour voir de près, pour lire par exemple, il doit compenser l'insuffisance de l'accommodation par l'emploi de lunettes munies de lunettes convergentes.

Puisque le **Punctum Proximum** s'éloigne, la **puissance maximale** de l'œil diminue et l'on atténue la **presbytie** en adjoignant à l'œil, un verre convergent. Il s'ensuit un **rapprochement** du **Punctum Remotum** et en définitive l'amplitude de l'œil armé reste celle de l'œil nu.

Bien entendu, un observateur à une **vue normale** devenu **presbyte** quitte ses lunettes pour regarder les objets éloignés qu'il continue à voir sans accommodation.

Étant donné son origine, la **presbytie** peut affecter toutes les vues, si bien qu'un **myope presbyte** doit utiliser deux verres correcteurs :

- L'un **divergent**, pour la vision des objets éloignés, corrige la **myopie**,
- L'autre, **convergent**, pour la vision d'objets proches, réduit la **presbytie**.



On remplace souvent ces deux verres par un seul « **à double foyer** » :

- La partie supérieure est utilisée pour la vision éloignée,
- Celle du bas, destinée à la lecture, est rendue plus convergente par soudure d'une pastille de verre.

La cataracte est un épaissement des tissus du cristallin entraînant d'abord **une vision trouble**, puis peu à peu **la cécité**. On est alors conduit à enlever le **cristallin**, ce qui diminue la convergence de l'œil d'une douzaine de dioptries.



On atténue ces diminutions physiques par l'emploi des verres fortement convergents ou de verres de contact.

Exercice 19 :
L'œil myope-presbyte

PR

PP

Zone de vision
nette de ce myope

-100cm

-40cm



- 1) Une lentille divergente de distance focale $f'_c = \text{PR} = -100\text{cm}$
et de vergence

$$V_c = \frac{1}{f'_c} = \frac{1}{-100 \cdot 10^{-2}} = -1\delta$$

- 2) $\text{NPP} \xrightarrow{L_c} \text{PP} \Rightarrow \frac{1}{\text{PP}} - \frac{1}{\text{NPP}} = \frac{1}{f'_c} \Rightarrow$

$$\text{NPP} = \frac{\text{PP} \cdot f'_c}{f'_c - \text{PP}}$$

A.N. : $\text{NPP} = -66,67\text{cm}$

$\text{NPR} \rightarrow \infty$

Zone de vision distincte œil + lunette

$\text{NPP} = -66,67\text{cm}$

Verre correcteur
 $f'_c = -100\text{cm}$ & $V_c = -1\delta$

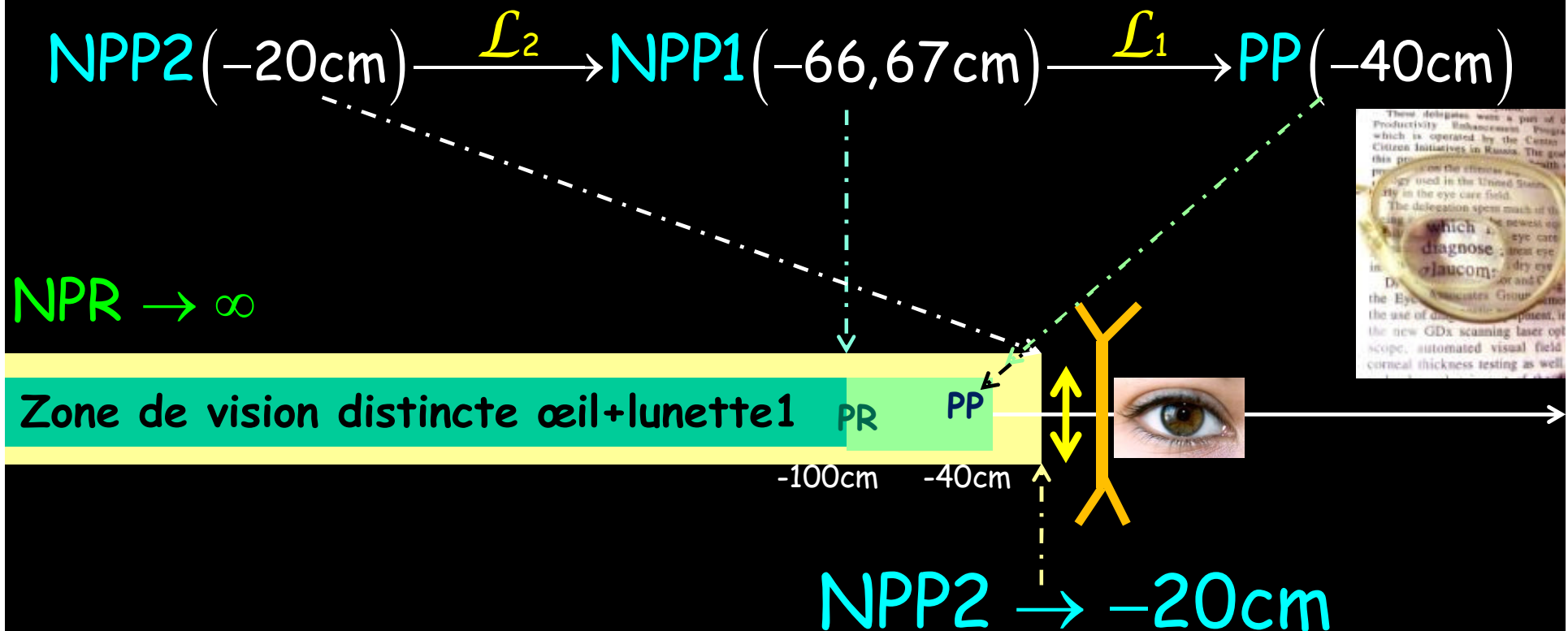


$\text{NPP} = -66,67\text{cm}$ -40cm

3) Pour améliorer la vision rapprochée à l'aide des mêmes lunettes de correction \mathcal{L}_{c1} , on accole une seconde lentille \mathcal{L}_{c2} convergente afin d'avoir la distance minimale d_m de la vision distance de l'œil corrigé soit ramenée à 20 cm.

$$V_2 = 3,5\delta \text{ \& } f'_c = 28,6\text{cm}$$

$$V = V_1 + V_2 \Rightarrow V_2 = V - V_1 = 2,5 - (-1) = 3,5\delta$$



4)

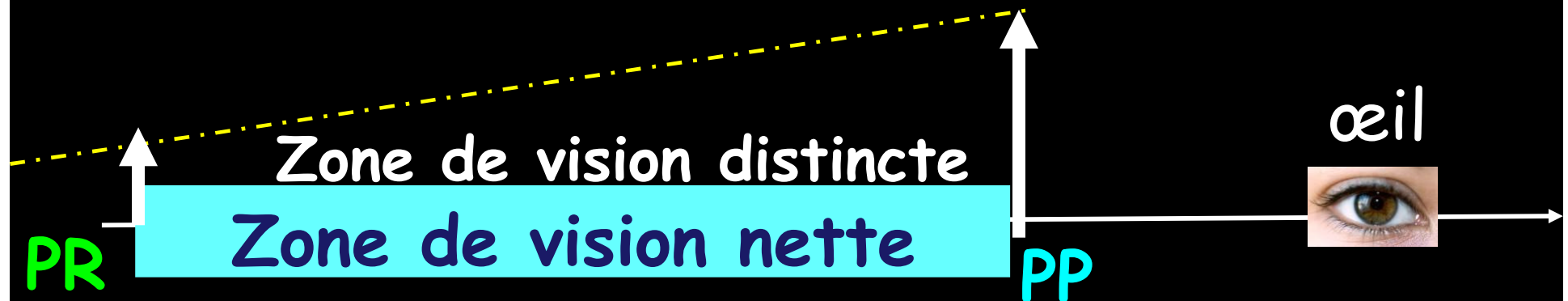
La seconde lentille \mathcal{L}_{c2} est supposée biconvexe de rayons R_1 et R_2 tel que : $R_1 = -R_2$. Sa vergence s'exprime comme suit :

$$V = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) = (n - 1) \cdot \left(\frac{2}{R_2} \right)$$

$$\Rightarrow R_2 = 2 \cdot \frac{(n - 1)}{V} = 2 \cdot \frac{(1,5 - 1)}{3,5} = 28,6 \text{ cm}$$

Fin de l'exercice n°19

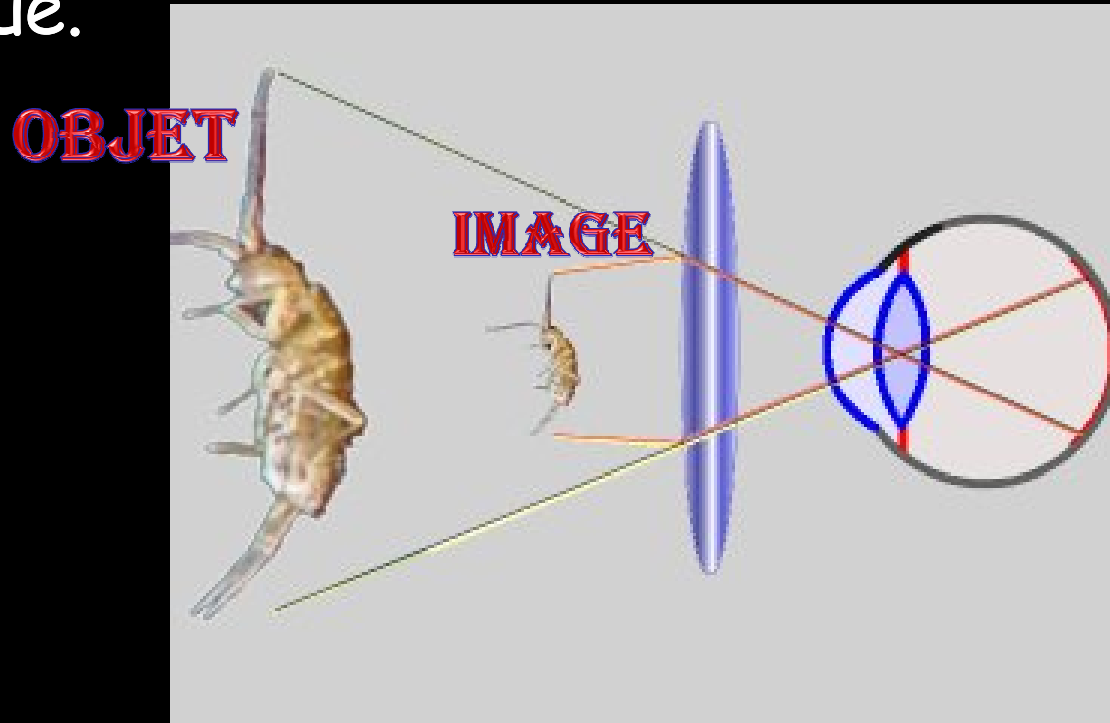
LA LOUPE



Un objet rapproché est vu par l'œil sous le plus grand diamètre apparent quand il est placé au **Punctum Proximum PP**. Cette position impose en même temps l'accommodation maximale (**vergence maximale**).

A cet égard, **l'œil myope** manifeste une supériorité sur les autres yeux.

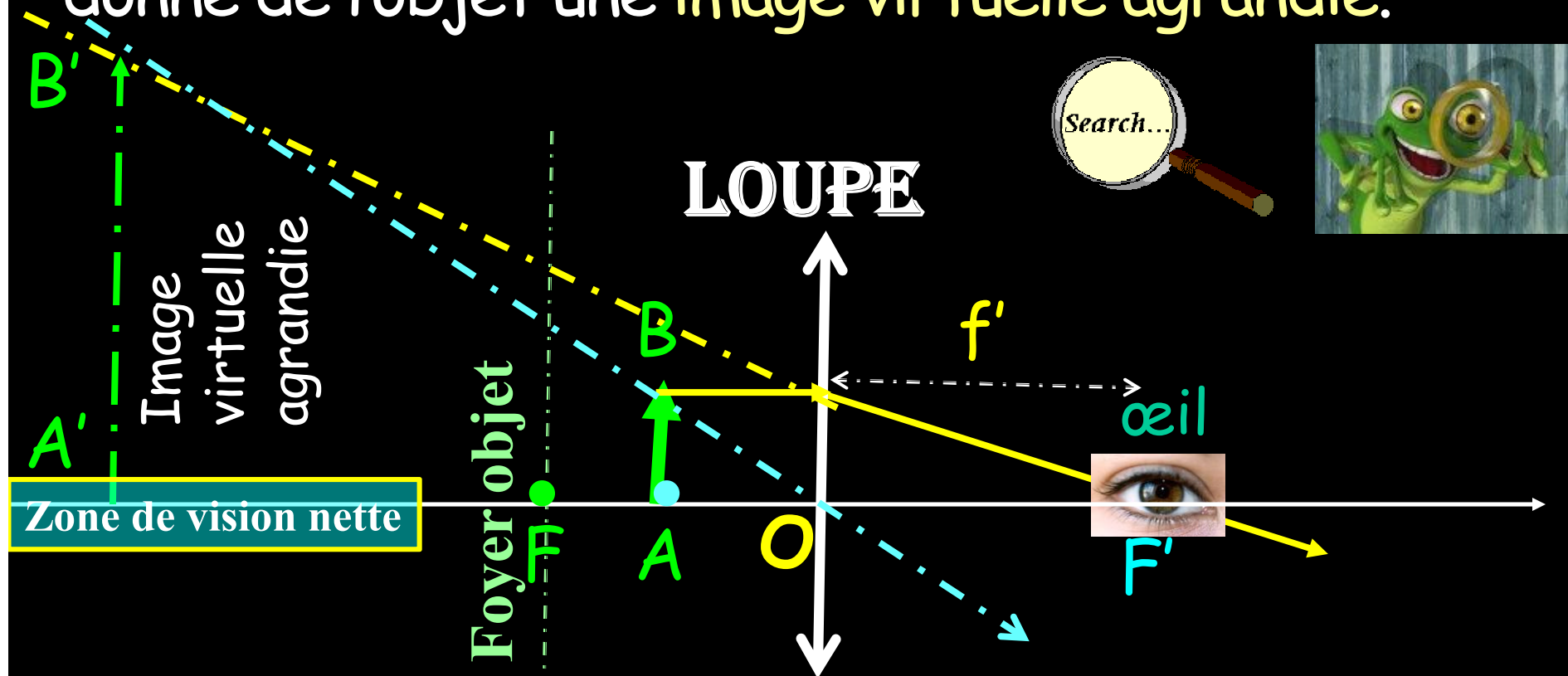
Pour réduire ou même supprimer cette **accommodation**, on substitue à la **vision directe** de l'objet celle de l'image qu'en donne un système optique.



Guillaume de Saint Cloud (1285),
Léonard de Vinci, Newton et
bien d'autres ont aussi à
la question des
éclipses.
Tout cela n'aura
de l'importance
XIII. Reprenant
vaticane
de V. formulée p
«...si on en
flammé, le feu lui fe-
ras tracer semblera un anneau de
feu.», Patrice d'ARCY imagine en
1765 toute une machine pour
effectuer des mesures à peu près
fiables. Un charbon ardent est fixé
à la périphérie d'une roue qu'un
mécanisme de poids et de valets
met en rotation uniforme. En rai-

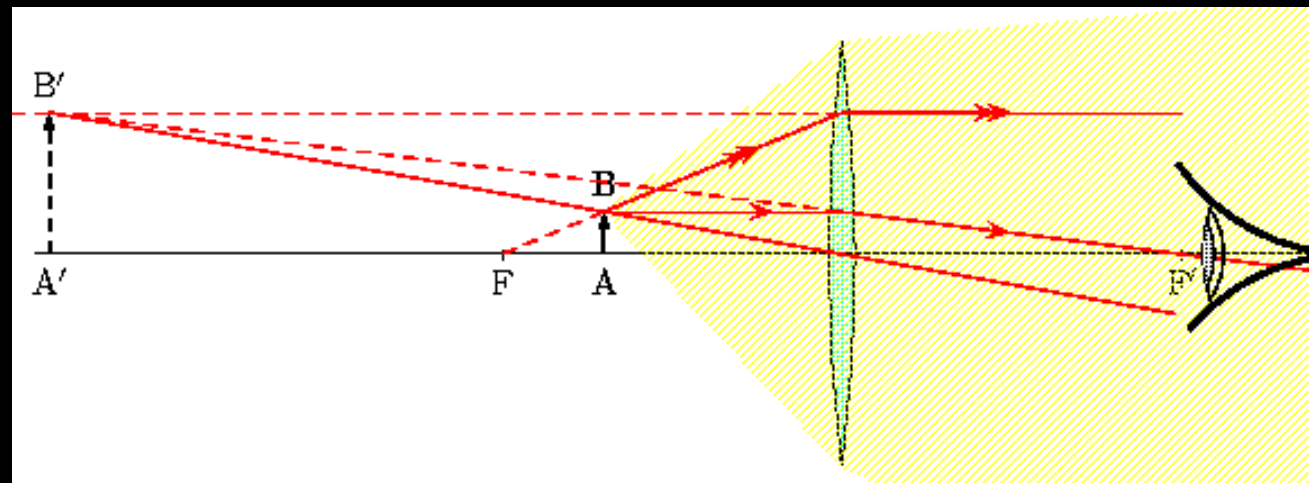
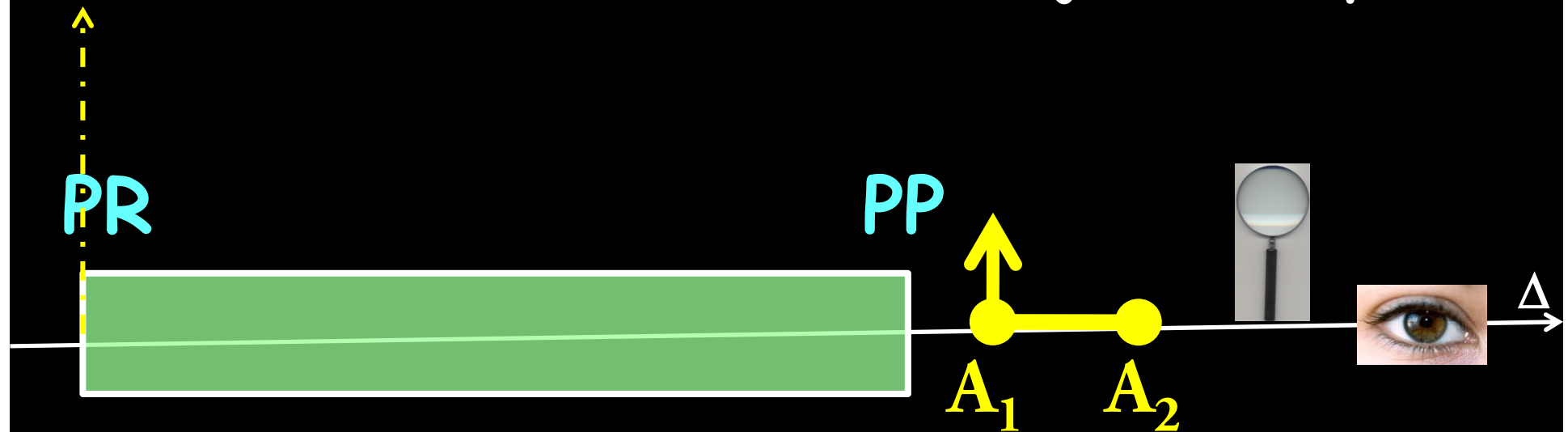
Pour éliminer **l'encombrement**, l'image est formée
loin de l'œil et de préférence au **Punctum Remotum**,
son **diamètre apparent** devant être aussi grand que
possible.

Une **Loupe** est une lentille épaisse convergente de courte distance focale f' , comprise entre 2 et 10 cm, utilisée par un œil myope ou emmétrope, donne de l'objet une **image virtuelle agrandie**.



L'objet à examiner étant placé entre la loupe et son plan focal objet **F**, l'image est virtuelle et grande.

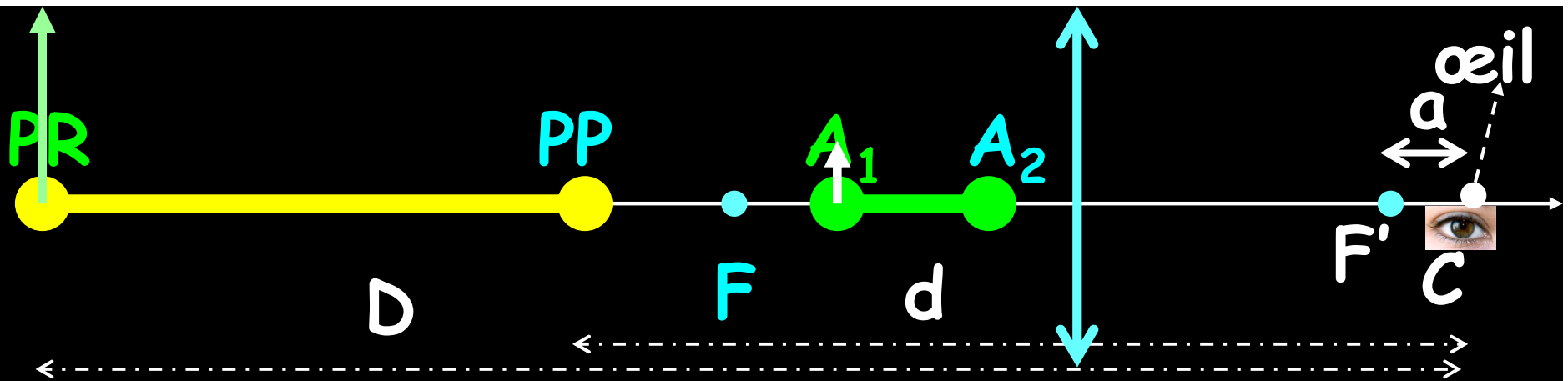
La **mise au point** consiste à amener l'image virtuelle **A'B'** entre les deux punctums (**PP** et **PR**) de vision distincte de l'œil, en modifiant la distance de l'objet à la loupe.



La latitude ℓ de mise au point est alors la distance des positions extrêmes A_1 et A_2 entre lesquelles doit se trouver l'objet pour que son image soit bien visible par l'observateur, donc cette image doit être placée entre les deux Punctums (Proximum et Remotum).

les deux positions extrêmes A_1 et A_2 , comme l'indique la figure précédente, sont conjugués des punctums PR et PP respectivement.

La mesure algébrique $\overline{A_1 A_2}$ est la latitude ℓ d'accommodation de l'œil armé de la loupe.



où D et d sont les distances maximale et minimale de vision distincte de l'observateur.

$$\overline{F'C} = a$$

A_1 a pour image PR

A_1 $\xrightarrow{\text{loupe } \overline{OF'} = f'}$ $PR = R$

Relation de Descartes

$$\frac{1}{\overline{OR}} - \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{f'}$$

A_2 a pour image PP

$A_2 \longrightarrow PP = P$

$$\frac{1}{\overline{OP}} - \frac{1}{\overline{OA_2}} = \frac{1}{f'}$$

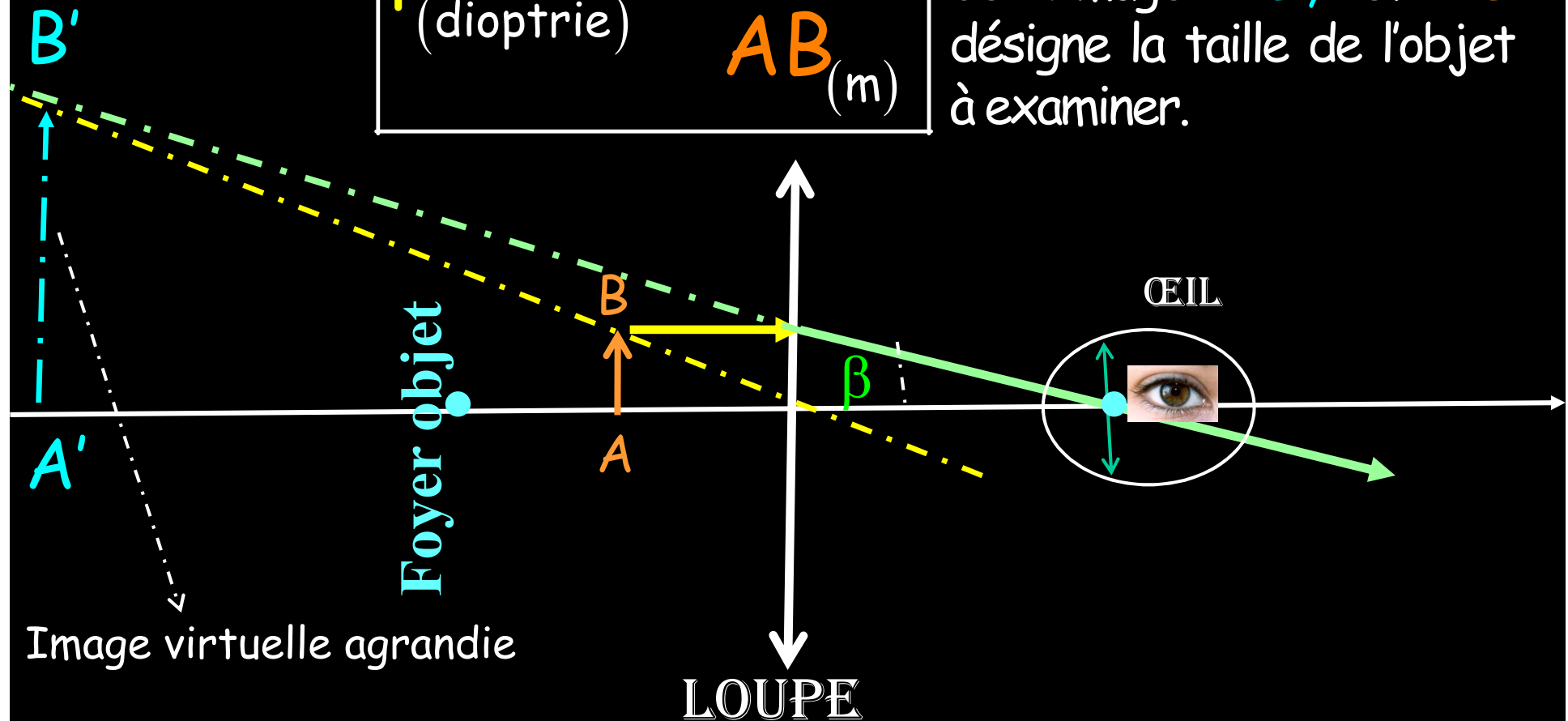
$$\overline{A_1 A_2} = \overline{A_1 O} + \overline{OA_2} = \overline{OA_2} - \overline{OA_1} = \text{latitude } \ell$$

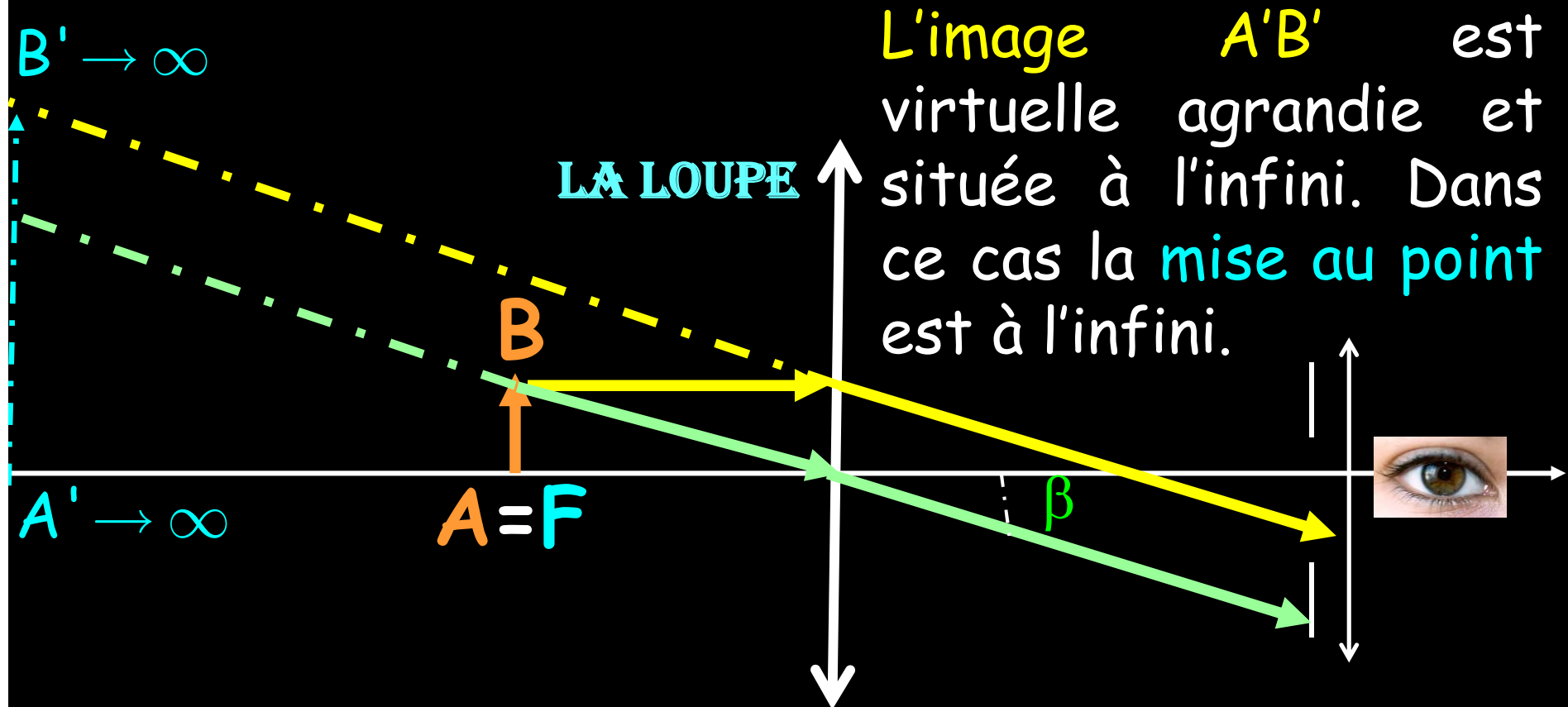
La puissance d'une loupe

l'efficacité de la loupe est caractérisée par l'angle β sous lequel est vue l'image $A'B'$ observée. La puissance P d'une loupe est définie comme suit :

$$P_{(\text{dioptrie})} = \frac{\beta_{(\text{rd})}}{AB_{(\text{m})}}$$

β est le diamètre apparent de l'image $A'B'$, et AB désigne la taille de l'objet à examiner.





Remarque : Quand l'objet est placé dans le plan focal objet F , son image est formée à l'infini. Dans ce cas, son diamètre β est exprimé comme suit :

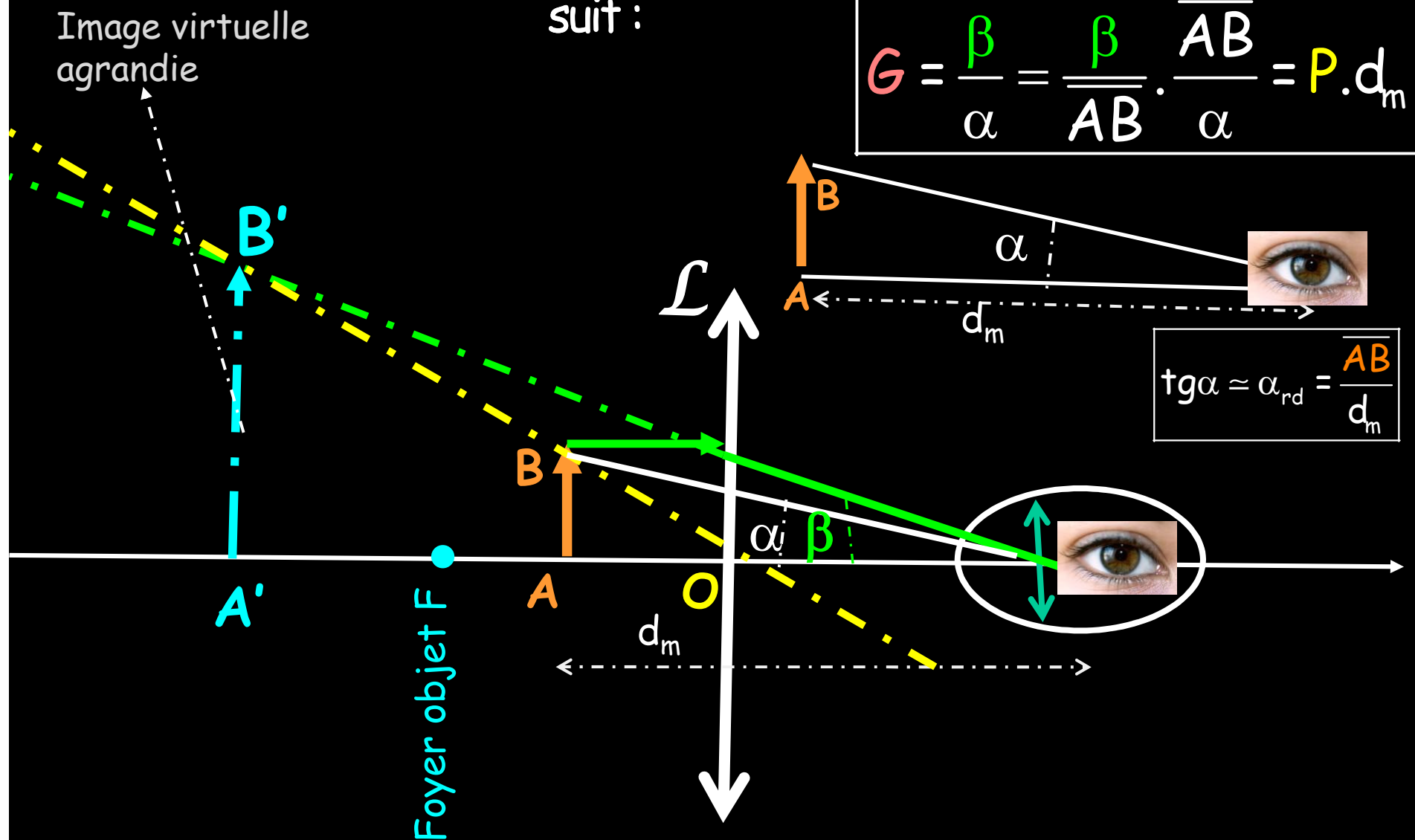
$$\beta = \frac{AB}{OF} = \frac{AB}{f'}, \quad \text{d'où} \quad P = \frac{\beta}{AB} = \frac{1}{f'} = V = \text{Vergence}$$

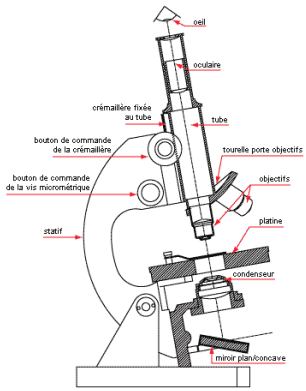
Grossissement

Grossissement β est le diamètre apparent de l'image $A'B'$, et α est le diamètre apparent de l'objet AB . Le **grossissement** G est défini comme suit :

| | | |
|---------|---------|-----------------|
| β | β | \overline{AB} |
|---------|---------|-----------------|

$$G = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\beta}{AB} \cdot \frac{AB}{\alpha} = P \cdot d_m$$





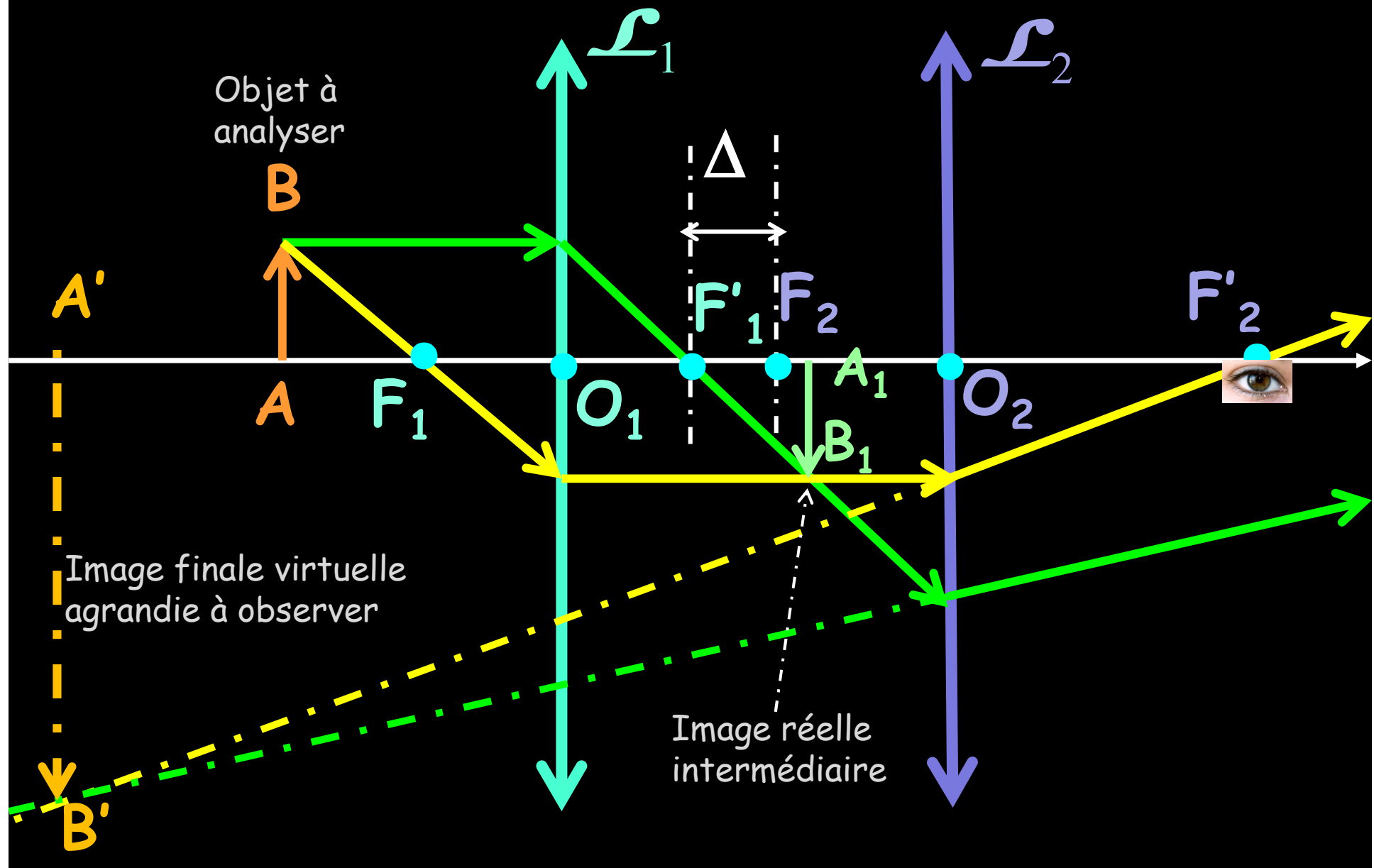
Le microscope:



Un **microscope** est un instrument de très fort grossissement comprenant un **objectif**, assimilable à une lentille mince très convergente, et un **oculaire** jouant le rôle de loupe dans l'examen de l'image réelle, très agrandie, que l'objectif donne de l'objet examiné. **Le microscope** est alors l'association de deux systèmes convergents. Il sert à observer de petits objets rapprochés.

Son fonctionnement idéal : lorsque l'image réelle donnée par l'objectif se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire (dans ce cas l'œil normal n'accommode pas).

Comment fonctionne un microscope ?



où β est le diamètre apparent de l'image, et AB désigne la taille de l'objet à examiner.

$$P_{(\text{dioptrie})} = \frac{\beta_{(\text{rd})}}{AB_{(\text{m})}}$$

$$P = \frac{A_1 B_1}{AB} \cdot \frac{\beta}{A_1 B_1} = \underbrace{\gamma_1}_{\text{l'Objectif}} \cdot \underbrace{P_0}_{\text{l'Oculaire}}$$

La Puissance :

Le grossissement :

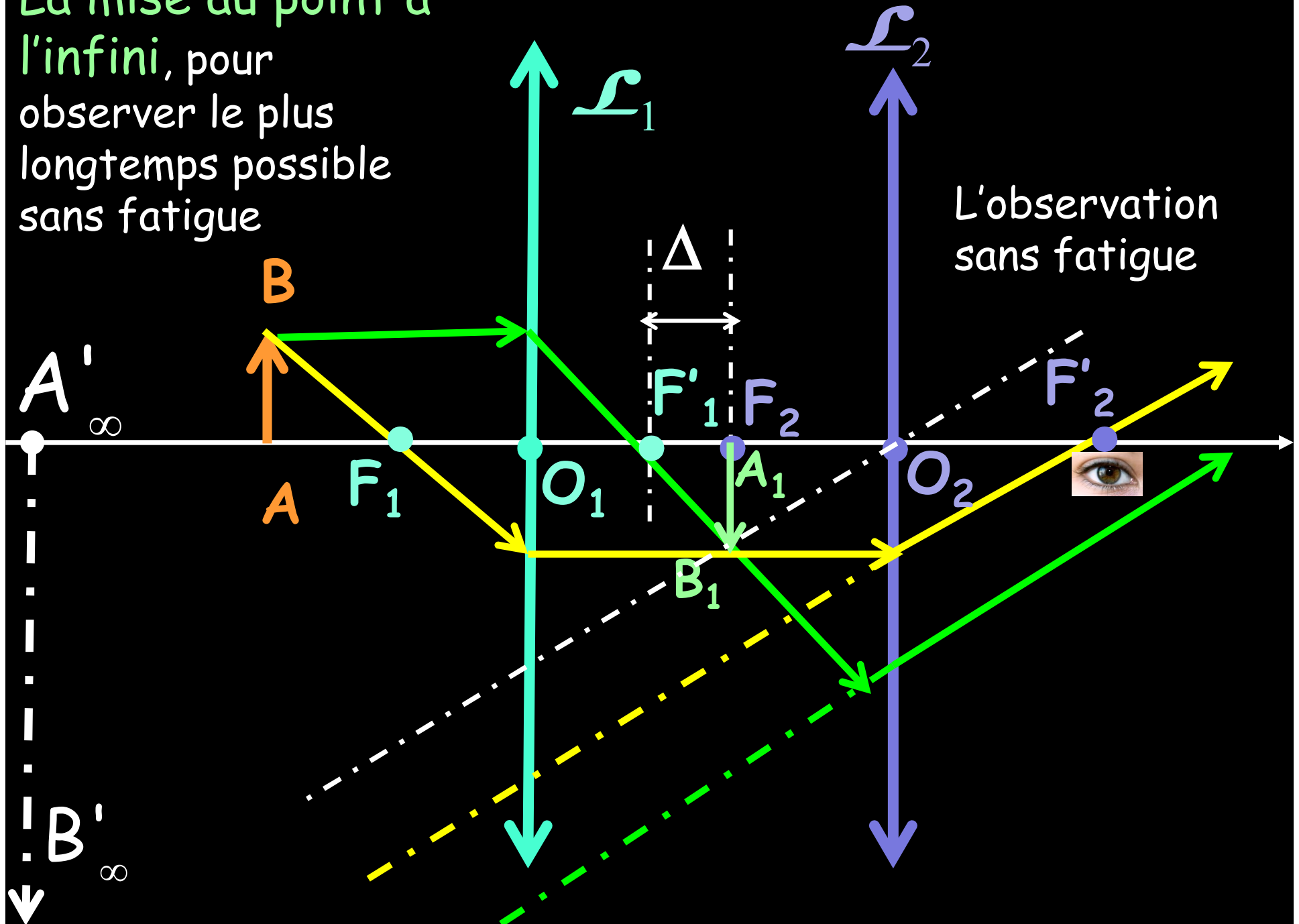
Avec β est le diamètre apparent de l'image, et α est le diamètre apparent de l'objet.

$$G = \frac{\beta}{AB} \cdot \frac{AB}{\alpha} = P \cdot d_m$$

$$G = \frac{\beta}{\alpha}$$

d_m est la distance minimale de vision distincte

La mise au point à l'infini, pour observer le plus longtemps possible sans fatigue



Exercice 22: Le microscope

$$V_1 = 250\delta \Rightarrow f'_1 = 4\text{mm}, \quad \overline{O_1O_2} = 18,9\text{cm} = 189\text{mm}, \quad \overline{O_1A} = -4,1\text{mm}, \quad V_2 = ?$$

$$\text{a) } AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A'B' \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} = \frac{1}{f'_1} \Rightarrow \boxed{\overline{O_1A'} = \frac{f'_1 \cdot \overline{O_1A}}{f'_1 + \overline{O_1A}} = 164\text{mm}}$$

$$\text{b) } \gamma_{\dagger} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A'}}{\overline{O_1A}} = \frac{164\text{mm}}{-4,1\text{mm}} = -40$$

$$\boxed{\overline{A'B'} = \overline{AB} \cdot \gamma_{\dagger} = 10\mu\text{m} \cdot (-40) = -400\mu\text{m}}$$

$A'B'$ est une image réelle, renversée et 40 fois plus grande que l'objet $AB=10\mu\text{m}$

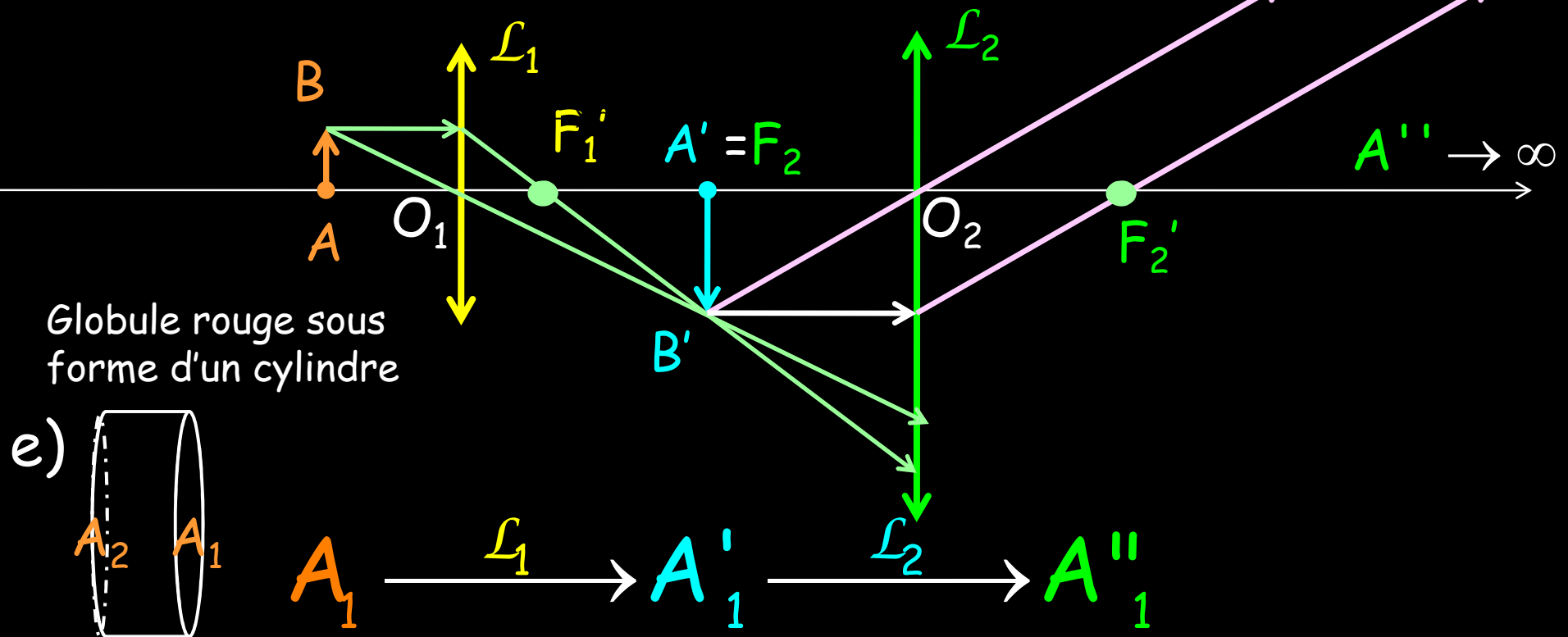
$$\text{c) } AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A'B' \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A''B''$$

$A''B''$ est une image virtuelle, droite agrandie, formée par l'oculaire \mathcal{L}_2 qui joue le rôle d'une loupe.

d) $A''B''$ est située à l'infini alors l'image intermédiaire $A'B'$, formée par l'objectif \mathcal{L}_1 , doit être placée sur le foyer principal objet F_2 de \mathcal{L}_2 , d'où on a :

$$\overline{O_2 F_2} = \overline{O_2 A'} = \overline{O_2 O_1} + \overline{O_1 A'} = -189 + 164 = -25\text{mm}$$

Mise au point à l'infini



Globule rouge sous forme d'un cylindre

En vertu de la question (d) on a :

$$\begin{aligned} \overline{O_1 A_1} = -4,1\text{mm} &\Rightarrow \overline{O_1 A'_1} = 164\text{mm} \\ \overline{O_2 A'_1} = \overline{O_2 F_2} = -25\text{mm} &\Rightarrow A''_1 \rightarrow \infty \end{aligned}$$

$$f) \quad A_2 \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_2' \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A_2''$$

Par hypothèse on a : $\boxed{\overline{F_2 A_2'} = \overline{F_2 O_2} + \overline{O_2 O_1} + \overline{O_1 A_2'}} \Rightarrow$

$$\boxed{\overline{O_1 A_2'} = \overline{F_2 A_2'} + \overline{O_2 F_2} + \overline{O_1 O_2} = +3,1\text{mm} - 25 + 189 = 167,1\text{mm}}$$

A_2' est l'image intermédiaire de l'objet A_2 , formée par l'objectif \mathcal{L}_1 , d'où on a :

$$\frac{1}{\overline{O_1 A_2'}} - \frac{1}{\overline{O_1 A_2}} = \frac{1}{\overline{O_1 F_1'}} = \frac{1}{f_1'} \Rightarrow \boxed{\overline{O_1 A_2} = \frac{f_1' \cdot \overline{O_1 A_2'}}{f_1' - \overline{O_1 A_2'}}$$

D'où on a :

$$\text{A.N.: } \boxed{\overline{O_1 A_2} = \frac{f_1' \cdot \overline{O_1 A_2'}}{f_1' - \overline{O_1 A_2'}} = \frac{4 \cdot 167,1}{4 - 167,1} = -4,098\text{mm}}$$

$$\boxed{\overline{A_1 A_2} = \overline{A_1 O_1} + \overline{O_1 A_2} = \overline{O_1 A_2} - \overline{O_1 A_1} = -4,098 + 4,100 = 0,002\text{mm} = 2\mu\text{m}}$$

C'est l'épaisseur du **globule rouge** à analyser au microscope.

fin